

(12) МЕЖДУНАРОДНАЯ ЗАЯВКА, ОПУБЛИКОВАННАЯ В СООТВЕТСТВИИ С
ДОГОВОРом О ПАТЕНТНОЙ КООПЕРАЦИИ (РСТ)

(19) ВСЕМИРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
Международное бюро



(43) Дата международной публикации:
27 февраля 2003 (27.02.2003)

(10) Номер международной публикации:
WO 03/017282 A1

(51) Международная патентная классификация¹:
G11C 11/21

(21) Номер международной заявки: PCT/RU01/00334

(22) Дата международной подачи:
13 августа 2001 (13.08.2001)

(25) Язык подачи: русский

(26) Язык публикации: русский

(71) Заявитель и

(72) Изобретатель: КРИГЕР Юрий Генрихович
[RU/RU]; 630117 Новосибирск, ул. Демакова, д. 12,
кв. 121 (RU) [KRIEGER, Juri Heinrich, Novosibirsk
(RU)].

(72) Изобретатель; и

(75) Изобретатель/Заявитель (только для (US)): ЮДА-
НОВ Николай Фёдорович [RU/RU]; 630127 Ново-
сибирск, ул. Арбузова, д. 1, кв. 13 (RU) [YUDA-
NOV, Nikolay Fedorovich, Novosibirsk (RU)].

(81) Указанные государства (национально): AL, AM, AT,

AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CU,
CZ, DE, DK, EE, ES, FI, GB, GE, HU, IL, IS, JP,
KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV,
MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT,
RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, TJ, TM, TR, TT, UA,
UG, US, UZ, VN.

(84) Указанные государства (регионально): ARIPO па-
тент (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ,
UG, ZW), евразийский патент (AM, AZ, BY, KG,
KZ, MD, RU, TJ, TM), европейский патент (AT,
BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,
LU, MC, NL, PT, SE, TR), патент OAPI (BF, BJ,
CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE,
SN, TD, TG).

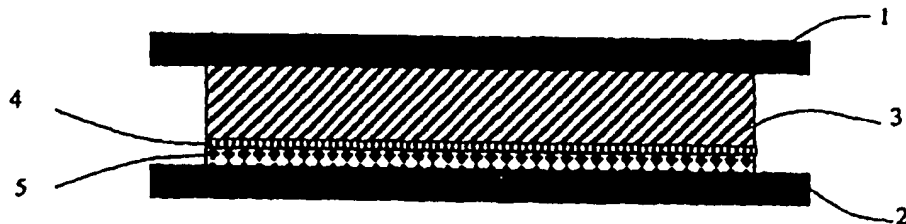
Опубликована

С отчётом о международном поиске.

В отношении двухбуквенных кодов, кодов языков и дру-
гих сокращений см. «Пояснения к кодам и сокращениям»,
публикуемые в начале каждого очередного выпуска Бюл-
летеня РСТ.

(54) Title: MEMORY CELL.

(54) Название изобретения: ЯЧЕЙКА ПАМЯТИ



(57) Abstract: The invention relates to computer engineering and can be used for various computer memory devices and for developing video-audio apparatus of new generation, systems of associative memories and synapses (an element of a electric line provided with a programmable electric resistance) for neural networks of neurocomputers. The inventive memory cell makes it possible to preserve several data bits and has a high speed. Said memory cell comprises two aluminium solid electrodes (1 and 2) and a multilayer functional area disposed therebetween and consisting of an active layer (3), a barrier layer (4) and a passive layer (5).

{Продолжение на след. странице}

BEST AVAILABLE COPY

WO 03/017282 A1



(57) Реферат: Изобретение относится к вычислительной технике и может быть использовано в запоминающих устройствах компьютеров различного назначения, а также для создания видео-аудио аппаратуры нового поколения, разработки систем ассоциативных запоминающих устройств, создания синапсов (элемента электрической цепи с программируемым электрическим сопротивлением) для нейронных сетей нейрокompьютеров.

Ячейка памяти позволяет хранить несколько битов информации и характеризуется высоким быстродействием.

Заявляемая ячейка памяти содержит два алюминиевых сплошных электрода 1 и 2, между которыми расположена многослойная функциональная зона, состоящая из одного активного слоя 3, одного барьерного 4 и одного пассивного слоя 5.

ЯЧЕЙКА ПАМЯТИ

Область техники

Изобретение относится к вычислительной технике и может быть использовано в запоминающих устройствах компьютеров различного назначения, в
5 разработке систем ассоциативных запоминающих устройств, создания синапсов (элемента электрической цепи с программируемым электрическим сопротивлением) для нейронных сетей, созданием банков данных с прямым доступом, созданием видео-аудио аппаратуры нового поколения.

Предшествующий уровень техники

10 В современных компьютерах используются запоминающие устройства различного назначения с отличающимися характеристиками по скорости записи, времени хранения, времени доступа и считывания информации. Это существенно усложняет работу вычислительных систем, увеличивает время подготовки компьютеров к работе, усложняет проблему сохранения информации и т.д.

15 Одной из приоритетных задач стоящей в области микроэлектроники является создание универсально запоминающего устройства обладающего высокой скоростью записи и считывания информации наряду с большим временем хранения и высокой информационной плотностью. Вместе с этим имеется большая потребность в создании эффективного и простого элемента синапса для нейрон-
20 ных компьютеров. Отсутствие такого элемента сдерживает создания реальных нейрокомпьютеров.

Вместе с тем, потенциальные возможности физических принципов заложенных в основу работы электронных устройств полупроводниковой микро-
электроники практически исчерпаны. В настоящее время идет интенсивный по-
иск новых принципов функционирования и производства электронных уст-
25 ройств на основе идей молекулярной электроники с использованием молекулярных материалов или супромолекулярных ансамблей.

В работах [1, 2] проанализирована возможность использования явления электронной структурной неустойчивости низкоразмерных проводящих систем

в качестве физического принципа, на основе которого возможно, в частности, создание запоминающих устройств нового поколения. В этой работе рассматриваются теоретические основы данного явления с точки зрения молекулярной электроники, анализируются условия и параметры, определяющие его характеристики. Приводятся данные по одномерным молекулярным структурам, представляющие интерес для построения указанных электронных структур, а также рассматриваются особенности структурной неустойчивости и анализируются возможности статического и динамического управления проводимостью одномерных систем.

10 Указанный физический принцип открывает перспективы конструирования запоминающих устройств, основанных на новых механизмах хранения и преобразования информации, а также в подборе соответствующих материалов. Представляется весьма очевидным, что потенциальные возможности молекулярной электроники будут раскрыты в большей мере при создании нейронных
15 сетей, состоящих из нейронов и связывающих их электроактивных синапсов. Создание средствами молекулярной электроники искусственных нейронов, различного типа сенсоров, включенных в единую сеть, откроет путь к реализации всех потенциальных возможностей заложенных в нейрокомпьютерной идеологии, позволит создать принципиально новый тип информационно вычислительных систем, и подойти вплотную к решению проблемы создания искусственного
20 интеллекта.

Известно устройство, содержащее ячейки памяти, которые могут быть использованы для хранения информации (см. патент USA 6055180, МКИ G11C 11/36, 2000г.).

25 Основным недостатком известного устройства является то, что оно позволяет производить лишь однократную запись информации. Причем для считывания информации используется оптический метод. Использование оптических устройств существенно усложняет и увеличивает размеры устройств, а также снижает надежность считывания из-за сложности позиционирования оптического
30 луча. В другом способе записи описанном в данном патенте используется эф-

фект теплового пробоя, который вызван приложением высокого напряжения. Недостатком данного метода записи является то, что оно позволяет производить также лишь однократную запись информации и требует использования высоких напряжений электрического поля.

5 Известна ячейка памяти, содержащая трехслойную структуру, состоящую из двух электродов, между которыми расположено высокотемпературное молекулярное соединение (см. патент JP 62-260401, МКИ H01C 7/10, C23C14/08, H01B 1/12, 1990г. и статью [4]). Известная ячейка памяти использует принцип, основанный на изменении электрического сопротивления молекулярного соеди-

10 нения при приложении внешнего электрического поля. Проводимость молекулярного вещества может принимать два сильно различающихся значения, что позволяет хранить один бит информации.

Основными недостатками известной ячейки памяти являются низкое быстродействие, связанное с большим временем переключения сопротивления и

15 высокое напряжение питания (около 60 В), которые существенно ограничивают использование указанной ячейки памяти в составе современных электронных устройств.

Известна также ячейка памяти, содержащая трехслойную структуру, состоящую из двух электродов, между которыми расположено низкотемператур-

20 ное молекулярное соединение (см. патент USA 4652894, МКИ H01L 29/28, 1987г. и статью [3]). Работа известной ячейки памяти тоже основана на изменении электрического сопротивления молекулярного соединения при приложении внешнего электрического поля. Однако данное устройство, в отличие от вышеприведенного, характеризуется быстрым временем переключения сопротивления и низкими рабочими напряжениями.

25

Основными недостатками известного технического решения являются, во-первых, невозможность объединения существующей технологии производства полупроводниковых приборов с предложенной технологией изготовления известной ячейки памяти, т.к. используемые в ней низкотемпературные молеку-

30 лярные соединения являются механически, а главное, термически неустойчивы-

ми веществами, способными выдерживать температуру только до 150°C. Это не позволяет применить их совместно с современной технологией изготовления полупроводников, использующих в технологических процессах температуры до 400°C.

- 5 Во-вторых, известная ячейка памяти способна хранить только один бит информации, что не позволяет использовать ее при создании устройств с высокой информационной плотностью.

Кроме того, физические характеристики примененных материалов обуславливают неудовлетворительную повторяемость цикла (запись-чтение-
10 стирание).

Все вышеприведенные, а также известные в литературе ячейки памяти данного типа имеют общий недостаток - позволяют хранить лишь один бит информации.

Раскрытие изобретения

- 15 В основу изобретения поставлена задача создания принципиально новой ячейки памяти, которая позволяла бы хранить несколько битов информации, характеризовалась бы быстрым временем переключения сопротивления и низкими рабочими напряжениями, но при этом позволяла бы совместить технологию ее изготовления с технологией производства современных полупроводниковых
20 устройств.

Эта задача решена тем, что в ячейке памяти, содержащей трехслойную структуру, состоящую из двух электродов, между которыми расположена функциональная зона, в качестве электродов используются металлы и/или полупроводник и/или проводящий полимер и/или проводящий и оптически прозрачный
25 окисел или сульфид, а функциональная зона выполнена из органических, металлоорганических и неорганических материалов со встроенными в молекулярную и/или кристаллическую структуру различными типами активных элементов, а также их сочетания друг с другом и/или кластерами на их

основе, которые изменяют свое состояние или положение под действием внешнего электрического поля и/или светового излучения.

Указанное выполнение ячейки памяти позволяет создать элемент памяти с однобитовым или многобитовым способом записи, хранения и считывания информации. При этом информация сохраняется в виде величины сопротивления функциональной зоны. Для ячейки памяти с однобитовым режимом хранения информации величина сопротивления ячейки имеет два уровня – высокий (соответствует значению, например, 0) и низкий (соответствует значению, например, 1), а для ячейки памяти с многобитовым режимом хранения информации величина сопротивления ячейки имеет несколько уровней, соответствующих определенному биту информации. Так, например, для двухбитовой ячейки имеется четыре уровня значений ее сопротивлений, для четырех битовой – шестнадцать уровней и т. д. Ячейка памяти выгодно отличается от используемых в настоящее время элементов памяти тем, что во время хранения информации, она не требует постоянного питания. Время хранения информации зависит от структуры ячейки памяти и используемого материала функциональной зоны, режима записи и может варьироваться от нескольких секунд (может быть использована для создания динамической памяти), до нескольких лет (может быть использована для создания долговременной памяти, типа «флеш» памяти).

Выгодно выполнить функциональную зону ячейки памяти, состоящей из активного слоя на основе органических или металлоорганических сопряженных полимеров со встроенными в основную цепь и/или присоединенными к цепи или плоскости и/или встроенными в структуру активными элементами образующими или не образующими светоизлучающую структуру, и/или из активного слоя на основе органических, металлоорганических и неорганических материалов с внедренными положительными или отрицательными ионами, в том числе и молекулярными ионами, и/или с внедренными кластерами на основе твердых электролитов, либо с молекулами и/или ионами с электрическим дипольным моментом, и/или с кластерами на основе твердых полимерных и неорганических ферроэлектриков, и/или с донорными и акцепторными молекулами, и/или с органическими и/или неорганическими солями и/или кислотам и/или

молекулами воды, и/или с молекулами, которые могут диссоциировать в электрическом поле и/или под действием светового излучения, и/или с неорганическими и/или металлоорганическими, и/или органическими солями, и/или молекулами с переменной валентностью металлов или атомарных групп входящих в них. Указанное выполнение функциональной зоны позволяет создать структуру, способную изменять электрическое сопротивление активного слоя и/или образовывать высокопроводящие области или нити в активном слое под воздействием внешних электрических и/или световых воздействий на ячейку памяти и сохранять это состояние продолжительное время без приложения внешних электрических полей.

Весьма эффективно использовать в качестве одного из активных элементов функциональной зоны ячейки памяти молекулы и/или ионы с электрическим дипольным моментом и/или с внедренными кластерами на основе твердых полимерных и неорганических ферроэлектриков, что обеспечивает работоспособность ячейки памяти при низких прикладываемых напряжениях. Это связано с тем, что присутствие ферроэлектрических элементов увеличивает величину напряженности внутреннего электрического поля, а, следовательно, потребует приложения меньшего внешнего электрического напряжения при записи информации.

Перспективно выполнить функциональную зону ячейки памяти в виде многослойной структуры, состоящей из нескольких слоев различной активности, например, выполненных из органических, металлоорганических и неорганических материалов со встроенными в молекулярную и/или кристаллическую структуру активными элементами и/или кластерами на их основе, которые изменяют свое состояние или положение под действием внешнего электрического поля и/или светового излучения, что позволяет расширить диапазон и дискретность величин электрического сопротивления, а, следовательно, повысить информационную плотность памяти.

Целесообразно выполнить функциональную зону ячейки памяти в виде многослойной структуры, состоящей из чередующихся активных, пассивных и

барьерных слоев, при этом пассивные слои выполнены из органических, метал-
лорганических и неорганических материалов являющихся донорами и/или ак-
цепторами носителей зарядов и обладающих ионной и/или электронной прово-
димостью, а барьерный слой, выполнен из материалов с электронной проводи-
мостью и низкой ионной проводимостью, что позволяет повысить временную
5 стабильность ячейки памяти и одновременно увеличить информационную плот-
ность за счет более высокой дискретности хранимых значений величин электри-
ческого сопротивления ячейки памяти. Такое выполнение функциональной зоны
позволяет создать многослойную структуру, способную изменять электрическое
10 сопротивление активного слоя и/или образовывать высокопроводящие области
или нити с металлической проводимостью в активном слое под действием
внешнего электрического поля и/или светового излучения на ячейку памяти и
сохранять это состояние продолжительное время без приложения внешних элек-
трических полей.

15 Предпочтительно выполнить электрод ячейки памяти в виде нескольких
разделенных между собой элементов, например, двух или трех элементов распо-
ложенных над функциональным слоем, что позволяет более точно контролиро-
вать величину электрического сопротивления ячейки, тем самым повысить уро-
вень дискретности записи информации, либо точности величины аналогового
20 значения электрического сопротивления ячейки, а также позволяет развязать
электрические цепи записи и считывания информации.

Выгодно выполнить электрод ячейки памяти в виде двух параллельных
пространственно разделенных полупроводниковым и/или органическим свето-
излучающим материалом элементов и образующих, например, или диодную
25 структуру, или фотосопротивление или фоточувствительный элемент, что по-
зволяет электрически или оптически развязать цепи записи и считывания ин-
формации.

Также выгодно выполнить электрод ячейки памяти в виде трех парал-
лельных пространственно разделенных полупроводниковым и/или органиче-
ским светоизлучающим материалом элементов и образующих, например, свето-
30

излучающую структуру и фотосопротивление или фоточувствительный элемент, что тоже позволяет оптически развязать цепи записи и считывания информации.

Краткое описание чертежей

На FIG.1- FIG.20 приведены варианты выполнения заявляемой ячейки памяти:

- FIG.1 – общая схема строения заявляемой ячейки памяти с двумя сплошными электродами и активной функциональной зоной;
- FIG.2 - заявляемая ячейка памяти с двумя сплошными электродами и однослойной функциональной зоной;
- 10 - FIG.3-8 - заявляемая ячейка памяти с двумя сплошными электродами и многослойной функциональной зоной ;
- FIG.9 - заявляемая ячейка памяти выполнена с однослойной функциональной зоной, с одним сплошным электродом, а другим электродом состоящим из двух элементов;
- 15 - FIG.10-11 - заявляемая ячейка памяти выполнена с многослойной функциональной зоной, с одним сплошным электродом, а другим электродом состоящим из двух элементов;
- FIG.12 - заявляемая ячейка памяти выполнена с однослойной функциональной зоной и двух электродов, каждый из которых состоит из двух элементов;
- 20 - FIG.13-14 - заявляемая ячейка памяти выполнена с многослойной функциональной зоной и двух электродов, каждый из которых состоит из двух элементов;
- FIG.15 - заявляемая ячейка памяти выполнена с однослойной функциональной зоной, с одним сплошным электродом, а другим электродом состоящим из трех элементов;
- 25

- FIG.16-17 - заявляемая ячейка памяти выполнена с многослойной функциональной зоной, с одним сплошным электродом, а другим электродом состоящим из трех элементов;

- FIG.18-20 - заявляемая ячейка памяти выполнена с многослойной функциональной зоной, снабженной элементами электрической или оптической раз-
5 вязки;

- FIG.21 – представлена схема, поясняющая принцип записи, стирания и считывания информации с заявляемой ячейки памяти;

- FIG.22 – представлены эпюры напряжения и тока при записи, стирании
10 и считывания информации с заявляемой ячейки памяти.

Лучшие варианты осуществления изобретения

Заявляемая ячейка памяти (FIG.1-8) содержит два алюминиевых сплошных электрода 1 и 2, между которыми расположена однослойная функциональная зона, состоящая из одного активного слоя, который может быть допирован
15 ионами 3 или кластерами электролитов (3а) (FIG.1-2) или двух активных допированных слоев 3в и 3с (FIG.3), или двух активных слоев с кластерами электролитов 3d и 3е (FIG.4), разделенных барьерным слоем 4. На FIG.5-8 функциональная зона выполнена многослойной, состоящей из одного активного слоя 3 и одного пассивного слоя 5 (FIG.5) или из одного активного слоя 3, одного барьерного 4 и одного пассивного слоя 5 (FIG.6) или из двух активных слоев 3в и 3с,
20 одного барьерного 4 и одного пассивного слоя 5 (FIG.7) или из двух активных слоев 3в и 3с, одного барьерного 4 и двух пассивных слоев 5а и 5в (FIG.8).

На (FIG.9-11) заявляемая ячейка памяти содержит алюминиевые электроды 1 и 2, при этом верхний электрод 1 состоит из двух элементов 1а и 1в. Между
25 электродами расположена функциональная однослойная зона, состоящая из одного активного слоя 3 (FIG.9), или многослойная функциональная зона состоящей из одного активного слоя 3 и одного пассивного слоя 5 (FIG.10), или многослойная функциональная зона состоящей из одного активного слоя 3 одного барьерного слоя 4 и одного пассивного слоя 5 (FIG.11).

На (FIG.12-14) представлена заявляемая ячейка памяти, содержащая алюминиевые электроды 1 и 2, каждый из которых состоит из двух элементов 1а, 1в и 2а, 2в. Между электродами расположена функциональная однослойная зона, состоящая из одного активного слоя 3 (FIG.12), или многослойная функциональная зона состоящей из одного активного слоя 3 и одного пассивного слоя 5 (FIG.13), или многослойная функциональная зона состоящей из одного активного слоя 3 одного барьерного слоя 4 и одного пассивного слоя 5 (FIG.14).

На (FIG.15-17) заявляемая ячейка памяти содержит алюминиевые электроды 1 и 2, при этом верхний электрод 1 состоит из трех элементов 1а, 1в и 1с. Между электродами расположена функциональная однослойная зона, состоящая из одного активного слоя 3 (FIG.15), или многослойная функциональная зона состоящей из одного активного слоя 3 и одного пассивного слоя 5 (FIG.16), или многослойная функциональная зона состоящей из одного активного слоя 3 одного барьерного слоя 4 и одного пассивного слоя 5 (FIG.17).

Заявляемая ячейка памяти (FIG.18-20) содержит два алюминиевых сплошных электрода 1 и 2, между которыми расположена многослойная функциональная зона 6, которая может быть выполнена аналогично изображенной на (FIG.3-8) и снабженная элементами электрической развязки – дополнительным электродом 7 и слоем 8 из полупроводникового и/или органического материала, образующего диодную структуру (FIG.18), или элементами оптической развязки – дополнительным электродом 9 из электропроводящего и оптически прозрачного материала и слоем 10 из полупроводникового и/или органического материала образующего фотосопротивление или фоточувствительный элемент (FIG.19), или элементами оптической развязки – электродом 7, изготовленного из электропроводящего материала и двух слоев 10, 11 из полупроводниковых и/или органических материалов разделенных электродом 9, изготовленного из электропроводящего и оптически прозрачного материала и образующих фотодиод или светоизлучающую структуру 11 и фотосопротивление или фоточувствительный элемент 10 (FIG.20).

Для пояснения принципа записи, стирания и считывания информации с заявляемой ячейки памяти рассмотрим схему, представленную на FIG.21, содержащую: специальный тестовый генератор 12, основанный на программируемом генераторе тока и обеспечивающего контролируемую величину тока во время записи информации, постоянное напряжение во время считывания, а также формирующего отрицательные импульсы напряжения при стирании; ячейку памяти включающую, электроды 1, 2 и функциональную зону 6, которая может быть выполнена в виде одного из вариантов представленных на FIG.1-17; балластного сопротивления 13 и устройств для регистрации напряжения 14 и 15, которые могут быть выполнены в виде вольтметров, самописцев или осциллографов. Измеряя падение напряжения на балластном сопротивлении 13, можно получить информацию о величине тока проходящего через ячейку памяти.

Устройство работает следующим образом. Тестовый генератор 12 формирует импульс напряжения 16 (FIG.22), превышающий пороговое значение 23. После того, как величина импульса тока записи 19 достигнет запрограммированного значения, генератор 12 переходит в режим считывания и формирует напряжение считывания 18, которое значительно ниже порогового значения 23. Запись считается произведенной, если контролируемая величина тока записи 19 достигает запрограммированного значения, после чего прикладываемое электрическое напряжение отключается. По величине тока 22 (a-d) через балластное сопротивление 13 можно судить о величине сопротивления ячейки памяти и эти значения сопротивлений можно поставить в соответствие с определенным битом информации. Так, например, для двух битовой ячейки памяти:

- ток 22a соответствует значению (00);
- 25 - ток 22b соответствует значению (01);
- ток 22c соответствует значению (10);
- ток 22d соответствует значению (11).

Время хранения информации, а также и дискретность установления соответствующих значений электрического сопротивления ячейки памяти зависит от

выбора структуры функциональной зоны и используемых материалов. Стирание информации производится генератором 12 путем подачи импульса отрицательного напряжения 17. Стирание считается произведенным, если контролируемые величины тока стирания 20 достигает заданного значения, после чего прикладываемое отрицательное электрическое напряжение отключается. После стирания ячейка памяти возвращается в исходное состояние с очень большим электрическим сопротивлением функциональной зоны 6. Для приведенной на FIG.21 структуры ячейки памяти, перед каждым актом записи информации необходимо перевести ячейку памяти в исходное состояние, т.е. стереть имеющуюся информацию.

Ниже приведены различные варианты выполнения заявляемой ячейки памяти.

Вариант 1.

Ячейка памяти (FIG.1,2) содержит трехслойную структуру, состоящую из двух электродов 1 и 2 выполненных из алюминия, между которыми расположен полифенилацетилен 3 или полидифенилацетилен допированный ионами лития 3а. Программирование ячейки памяти происходит при приложении импульса электрического поля, по величине превосходящего пороговое значение с одновременным контролем прорекаемого через ячейку электрического тока (или величины электрического сопротивления, или длительности и величины приложенного импульса электрического напряжения). Запись считается произведенной, если контролируемые величины (ток или сопротивление) достигают заданного значения, после чего прикладываемое электрическое напряжение отключается. Чтение информации с ячейки происходит приложением импульса электрического напряжения с величиной ниже его порогового значения с одновременной регистрацией величины прорекаемого тока или с контролем величины электрического сопротивления. Стирание происходит при приложении обратного (отрицательного) импульса электрического напряжения с одновременным контролем прорекаемого через ячейку электрического тока (или величины электрического сопротивления, или длительности и величины приложенного им-

пульса электрического напряжения). Стирание считается произведенным, если контролируемые величины (ток или сопротивление) достигают заданного значения, после чего прикладываемое отрицательное электрическое напряжение отключается.

5 Вариант 2.

Ячейка памяти (FIG.3,4) содержит трехслойную структуру, состоящую из двух электродов 1 и 2 выполненных из алюминия, между которыми расположены два слоя полифенилацетилена 3в и 3с или полидифенилацетилена допированных ионами лития 3d и 3е, которые разделены нитридом лития 4. Программирование, чтение и стирание информации ячейки памяти происходит методом, описанным в варианте 1. Такая ячейка характеризуется долгим временем хранения информации.

Вариант 3.

Ячейка памяти FIG.5 содержит трехслойную структуру, состоящую из двух электродов 1, 2 выполненных из алюминия, между которыми расположен слой из окиси или нитрида кремния или полистирола 3 и пассивный слой 5 из халькогенида меди или халькогенида серебра. Программирование, чтение и стирание информации ячейки памяти происходит методом, описанным в варианте 1. Такая ячейка характеризуется долгим временем хранения информации.

20 Вариант 4.

Ячейка памяти (FIG.1) содержит трехслойную структуру, состоящую из двух электродов 1 и 2 выполненных из алюминия, между которыми расположен слой 3 из полифенилацетилена или полидифенилацетилена, допированный молекулами хлоранила или тетрацианхинодиметана. Программирование, чтение и стирание информации ячейки памяти происходит методом, описанным в варианте 1. Такая ячейка характеризуется быстрым временем переключения.

Вариант 5.

Ячейка памяти FIG.5 содержит трехслойную структуру, состоящую из двух электродов 1 и 2 выполненных из алюминия, между которыми расположен

слой из полианилина 3 и пассивный слой 5 из гидрида палладия. Программирование, чтение и стирание информации ячейки памяти происходит методом, описанным в варианте 1. Такая ячейка характеризуется быстрым временем переключения.

5 Вариант 6.

Ячейка памяти FIG.16 содержит трехслойную структуру, состоящую из двух электродов выполненных из алюминия, причем один из электродов (верхний) выполнен из трех элементов 1a, 1b, 1c. Функциональный слой 3 состоит из полифенилацетиленов или полидифенилацетиленов и пассивного слоя 5 халькогенида ниобия, легированного ионами лития или слоя халькогенида меди. Программирование ячейки памяти происходит при приложении импульса электрического поля к нижнему электроду 2 и к центральному элементу верхнего электрода 1c, которое по величине превосходит пороговое значение 23 с одновременным контролем величины электрического сопротивления между крайними элементами верхнего электрода 1a и 1b. Запись считается произведенной, если контролируемые величины электрического сопротивления достигают заданного значения, после чего прикладываемое электрическое напряжение отключается. Чтение информации с ячейки происходит методом измерения величины электрического сопротивления между крайними элементами верхнего электрода 1a и 1b с использованием импульса электрического напряжения малой величины. Стирание ячейки памяти происходит при приложении обратного (отрицательного) импульса электрического поля к нижнему электроду 2 и к центральному элементу верхнего электрода 1c с одновременным контролем величины электрического сопротивления между крайними элементами верхнего электрода 1a и 1b. Стирание считается произведенным, если контролируемые величины (ток или сопротивление) достигают заданного значения, после чего прикладываемое отрицательное электрическое напряжение отключается. Такая ячейка характеризуется более высокой информационной плотностью за счет развязки электрических цепей записи и считывания и, как следствие, более прецизионного контроля величины программируемого значения величины электрического сопротивления ячейки памяти.

Вариант 7.

Ячейка памяти FIG.20 содержит многослойную структуру, состоящую из четырех электродов 1, 2 (из алюминия), 7 (из магния) и 9 (из проводящего прозрачного окисла индия). Функциональная зона (6) соответствует функциональной зоне FIG.16 и выполнена из полифенилацетилена или полидифенилацетилена и пассивного слоя халькогенида ниобия, допированного ионами лития или слоя халькогенида меди. Слой (11) выполнен из полифенилвинилена и представляет собой светоизлучающую структуру. Слой (10) выполнен из полупроводникового или органического материала и представляет собой светочувствительную структуру. Светоизлучающий (11) и светочувствительный (10) слои разделены электродом (9) из проводящего и прозрачного окисла индия. Программирование и стирание информации ячейки памяти происходит методом, описанным в примере 1, посредством приложения напряжения к электродам 1 и 7. Чтение информации с ячейки происходит приложением импульса электрического напряжения к электродам 1 и 2 с величиной ниже порогового значения с одновременной регистрацией величины напряжения или с контролем величины электрического сопротивления между электродами 2 и 9 или с контролем величины электрического напряжения между ними. Такая ячейка характеризуется более высокой информационной плотностью за счет оптической развязки электрических цепей записи и считывания, что обеспечивает более прецизионный контроль программируемого значения величины электрического сопротивления ячейки памяти.

Техническая применимость

Опытные образцы заявляемой ячейки памяти были изготовлены и испытаны на специальном стенде с использованием тестового генератора. Были изготовлены варианты с цельными электродами из алюминия, а также варианты с использованием двух и трех элементных алюминиевых электродов, между которыми расположен полисопряженный полимер полидифенилацетилена, допированный ионами лития. Нижний слой алюминия был напылен на стеклянную подложку, а верхний электрод напылялся на слой полисопряженного полимера.

Используемый полисопряженный полимер выдерживает нагрев до 400°C, что позволяет изготавливать заявляемые ячейки памяти совместно с производством полупроводниковых приборов. Испытаниями была доказана возможность создания ячейки памяти, позволяющей хранить как многобитовую, так и однобитовую цифровую информацию, а также формировать аналоговые значения величин ее электрического сопротивления, что позволяет использовать ее также в качестве синапсов для нейронных сетей.

Таким образом, заявляемую ячейку памяти можно считать принципиально новым устройством для хранения информации, как в цифровом, так и в аналоговом виде.

Источники литературы:

1. Ю.Г. Кригер Структурная неустойчивость одномерных систем как основа физического принципа функционирования устройств молекулярной электроники. Журнал. Структурной химии. 1999. Т.40, №4. с.734–767.
- 15 2. Ю.Г. Кригер Молекулярная электроника. Состояние и пути развития. Журнал структурной химии 1993, Т.34, N6, с.75-85.
3. R.S. Potember, T.O. Poehler Electrical switching and memory phenomena in Cu-TCNQ thin films. Appl. Phys. Letters, 1979v.34, N.6, p.405-407.
- 20 4. Y. Machida, Y. Saito, A. Taomoto, K. Nichogi, K. Waragai, S. Asakawa Electrical switching in evaporated lead phthalocyanine films. Jap. J. Appl. Phys. Pt.1 1989v. 28, N.2, p.297-298.

ФОРМУЛА

1. Ячейка памяти, содержащая трехслойную структуру, состоящую из двух электродов, между которыми расположена функциональная зона, отличающаяся тем, что в качестве электродов используются металл и/или полупроводник и/или проводящий полимер и/или проводящий и оптически прозрачные окислы или сульфиды, а функциональная зона выполнена из органических, металлоорганических и неорганических материалов со встроенными в молекулярную и/или кристаллическую структуру различными типами активных элементов, а также их сочетания друг с другом и/или кластерами на их основе, которые изменяют свое состояние или положение под действием внешнего электрического поля и/или светового излучения.
2. Ячейка памяти по п. 1, отличается тем, что электрод выполнен в виде нескольких пространственно и электрически разделенных между собой элементов.
3. Ячейка памяти по п. 1, 2 отличается тем, что электрод выполнен в виде двух или трех разделенных между собой элементов, расположенных над функциональной зоной.
4. Ячейка памяти по п.1, отличается тем, что функциональная зона выполнена из активного слоя на основе органических, металлоорганических и неорганических материалов с внедренными положительными или отрицательными ионами, в том числе и молекулярными ионами.
5. Ячейка памяти по п.1, отличается тем, что функциональная зона выполнена из активного слоя на основе композитов из органических, металлоорганических и неорганических материалов с внедренными кластерами на основе твердых электролитов.
6. Ячейка памяти по п.1, отличается тем, что функциональная зона выполнена из активного слоя на основе органических, металлоорганических и неорганических материалов с внедренными молекулами и/или ионами с электрическим дипольным моментом.
7. Ячейка памяти по п.1, отличается тем, что функциональная зона выполнена из активного слоя на основе композитов из органических, металлоорганических

ских и неорганических материалов с внедренными кластерами на основе твердых полимерных и неорганических ферроэлектриков.

8. Ячейка памяти по п.1, отличается тем, что функциональная зона выполнена из активного слоя на основе органических, металлорганических и неорганических материалов с внедренными донорными и акцепторными молекулами.
9. Ячейка памяти по п.1, отличается тем, что функциональная зона выполнена из активного слоя на основе органических, металлорганических и неорганических материалов с внедренными органическими и/или неорганическими солями и/или кислотам и/или молекулами воды.
10. Ячейка памяти по п.1, отличается тем, что функциональная зона выполнена из активного слоя на основе органических, металлорганических и неорганических материалов с внедренными молекулами, которые могут диссоциировать в электрическом поле и/или под действием светового излучения.
11. Ячейка памяти по п.1, отличается тем, что функциональная зона выполнена из активного слоя на основе органических, металлорганических и неорганических материалов с внедренными неорганическими и/или металлорганическими, и/или органическими солями, и/или молекулами с переменной валентностью металлов или атомарных групп входящих в них.
12. Ячейка памяти по п. 1, отличается тем, что функциональная зона выполнена из активного слоя на основе органических, металлорганических сопряженных полимеров со встроенными в основную цепь и/или присоединенными к цепи или плоскость и/или встроенными в структуру активными элементами образующими или не образующими светоизлучающую структуру.
13. Ячейка памяти по п.1, отличается тем, что в качестве функциональной зоны используется многослойная структура, состоящая из нескольких слоев различных активных слоев выполненных из органических, металлорганических и неорганических материалов со встроенными в молекулярную и/или кристаллическую структуру активными элементами и/или кластерами на их основе, которые изменяют свое состояние или положение под действием внешнего электрического поля и/или светового излучения.

14. Ячейка памяти по п. 13 отличается тем, что в качестве функциональной зоны используется многослойная структура, состоящая из нескольких активных, пассивных, барьерных, светоизлучающих и фоточувствительных слоев, при этом между и разделенных между собой электродами слоев различных активных слоев выполненными из органических, металлоорганических и неорганических материалов со встроенными в молекулярную и/или кристаллическую структуру активными элементами и/или кластерами на их основе, которые изменяют свое состояние или положение под действием внешнего электрического поля и/или светового излучения.
- 10 15. Ячейка памяти по п.п. 14 отличающееся тем, что в качестве функциональной зоны используется многослойная структура, состоящая из чередующихся активных и пассивных и барьерных слоев, снабженных элементами оптической или электрической развязки.
- 15 16. Ячейка памяти по п. 14, отличающееся тем, что пассивные слои выполнены из органических, металлоорганических и неорганических материалов являющихся донорами и/или акцепторами носителей зарядов и обладающих ионной и/или электронной проводимостью.
17. Ячейка памяти по п.14, отличающееся тем, что барьерный слой, выполнен из материалов с электронной проводимостью и низкой ионной проводимостью.
- 20 18. Ячейка памяти по п.14, отличается тем, что в качестве функциональной зоны используется двухслойная структура состоящая из активного и пассивного слоев.
19. Ячейка памяти по п. 14, отличается тем, что в качестве функциональной зоны используется двухслойная структура, один слой выполнен из органических 25 металлоорганических и неорганических материалов и обладает низкой электронной проводимостью, а второй является пассивным слоем.
20. Ячейка памяти по п. 14 отличается тем, что в качестве функциональной зоны используется трехслойная структура с наружными слоями, выполненными из активных слоев и барьерного слоя расположенного между ними.

21. Ячейка памяти по п. 14, отличается тем, что в качестве функциональной зоны используется четырехслойная структура с двумя активными слоями, которые разделены третьим барьерным слоем, а четвертый является пассивным слоем.
- 5 22. Ячейка памяти по п. 14 отличается тем, что в качестве функциональной зоны используется пятислойная структура с двумя наружными пассивными слоями и расположенными между ними двумя активными слоями, которые разделены пятым барьерным слоем.
- 10 23. Ячейка памяти по п. 15, отличается тем, что элементы электрической развязки выполнен в виде дополнительного электрода изготовленного из электропроводящего материала и слоя из полупроводникового и/или органического материала образующих диодную структуру.
- 15 24. Ячейка памяти по п. 15, отличается тем, что элементы оптической развязки выполнен в виде дополнительного электрода изготовленного из электропроводящего и оптически прозрачного материала и слоя из полупроводникового и/или органического материала образующих или фотосопротивление или фоточувствительный элемент.
- 20 25. Ячейка памяти по п. 15, отличается тем, что элементы оптической развязки выполнен в виде дополнительного электрода изготовленного из электропроводящего материала и двух слоев из полупроводниковых и/или органических материалов разделенных вторым дополнительным электродом изготовленного из электропроводящего и оптически прозрачного материала и образующих фотодиод или светоизлучающую структуры и фотосопротивление или фоточувствительный элемент.

1/10



FIG. 1

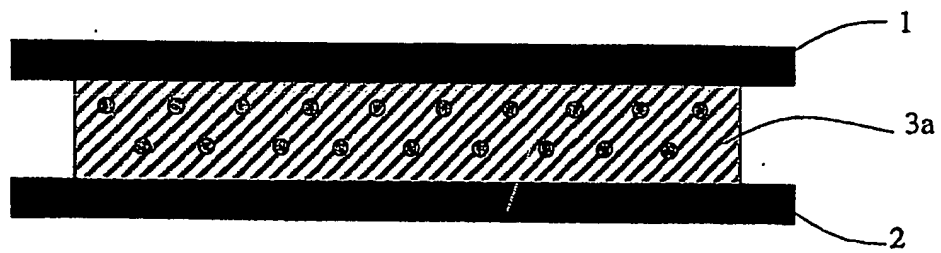


FIG 2



FIG. 3

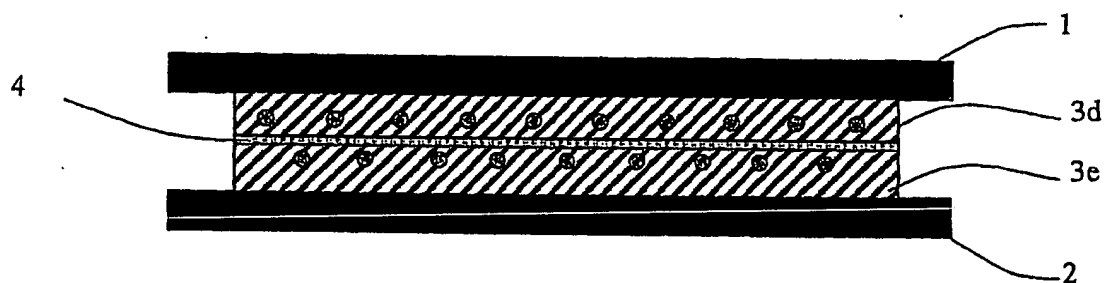


FIG. 4

3/10

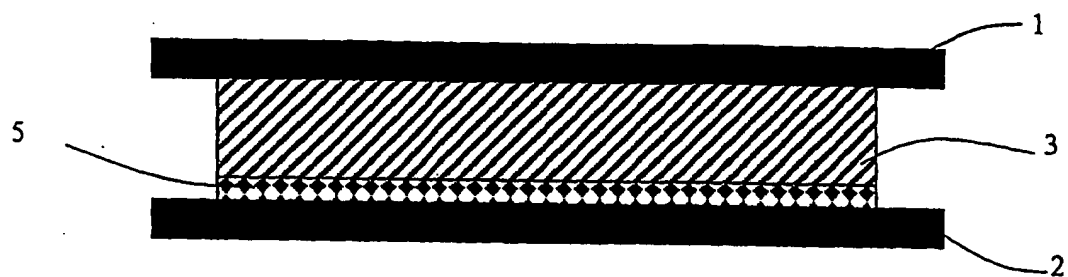


FIG. 5

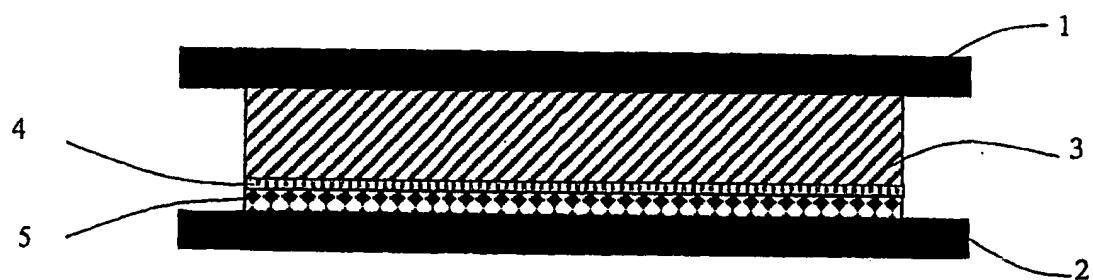


FIG. 6

4/10

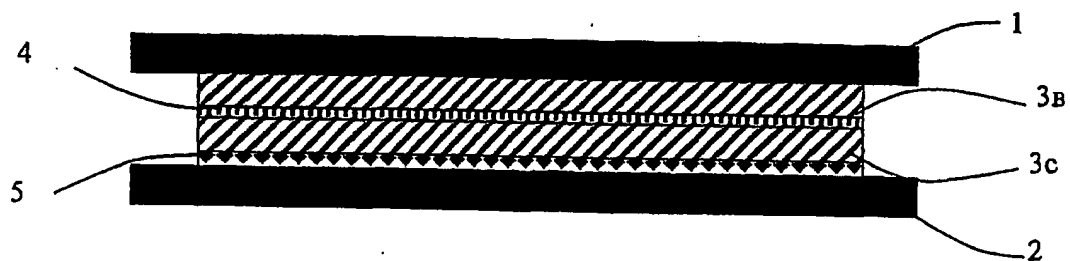


FIG. 7

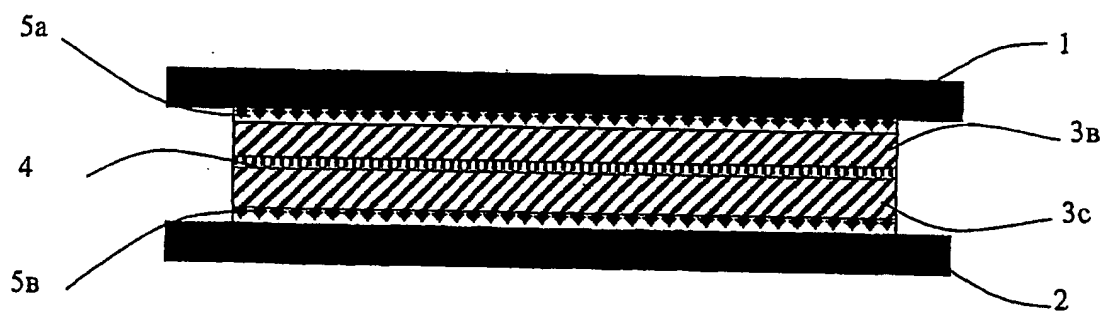


FIG. 8

6/10

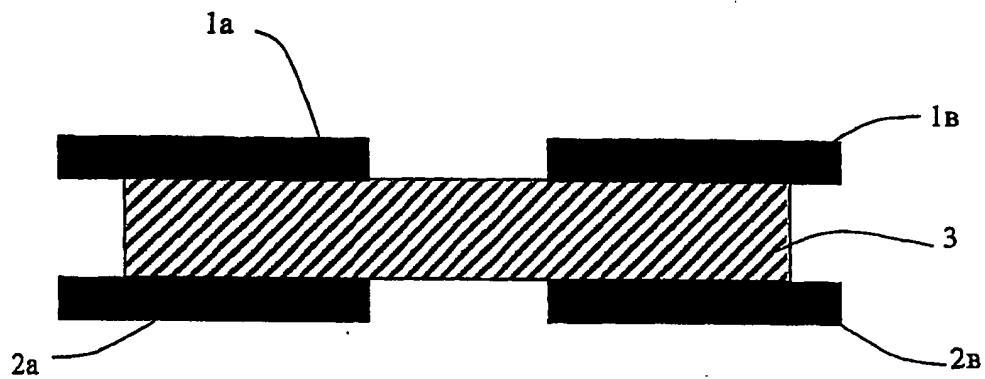


FIG. 12

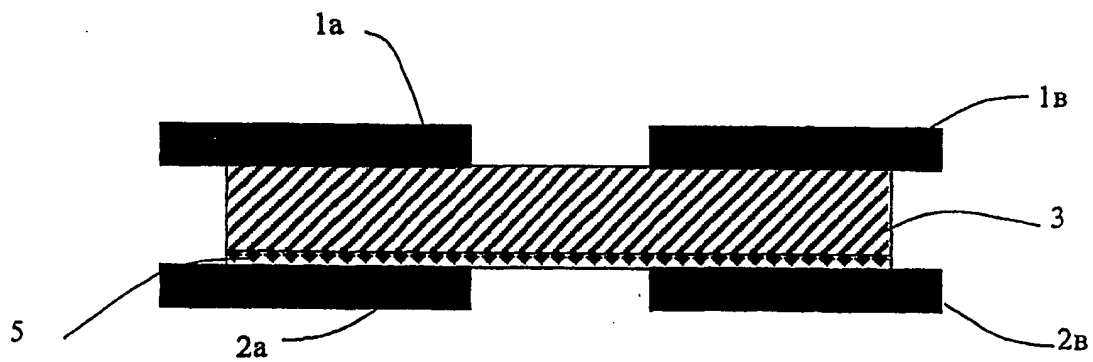


FIG. 13

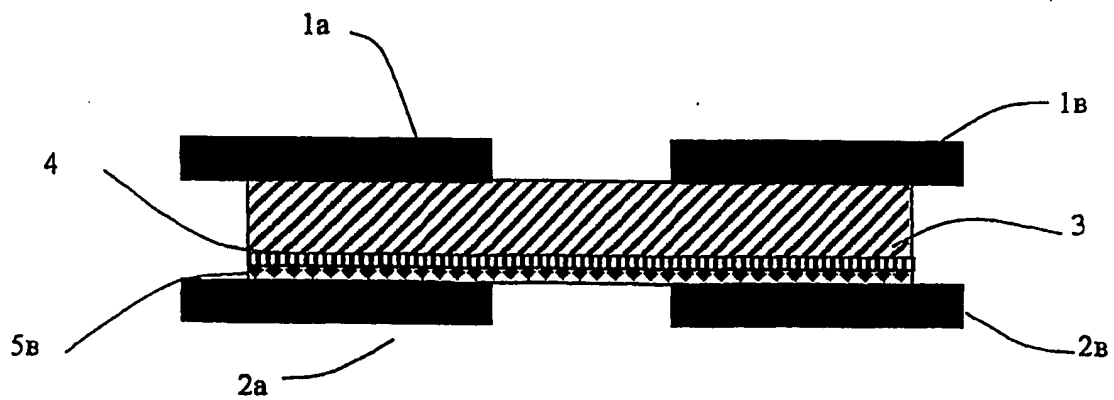


FIG. 14

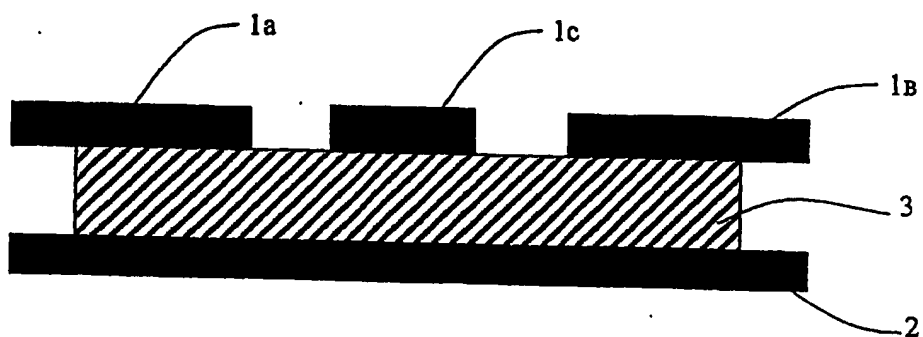


FIG. 15

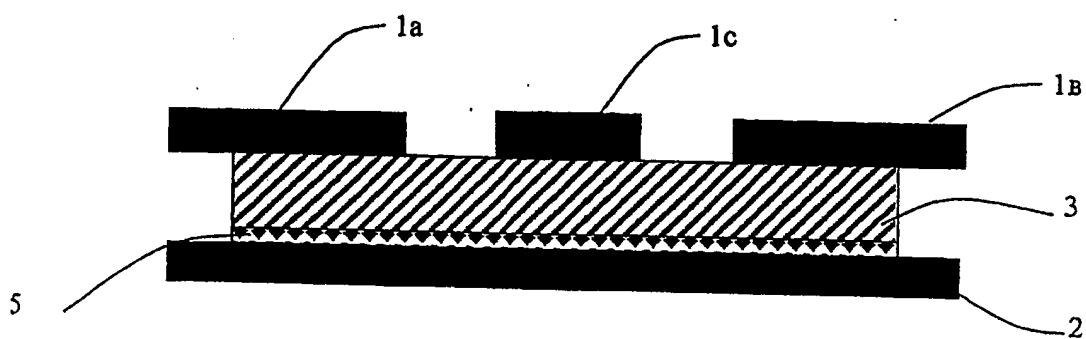


FIG. 16

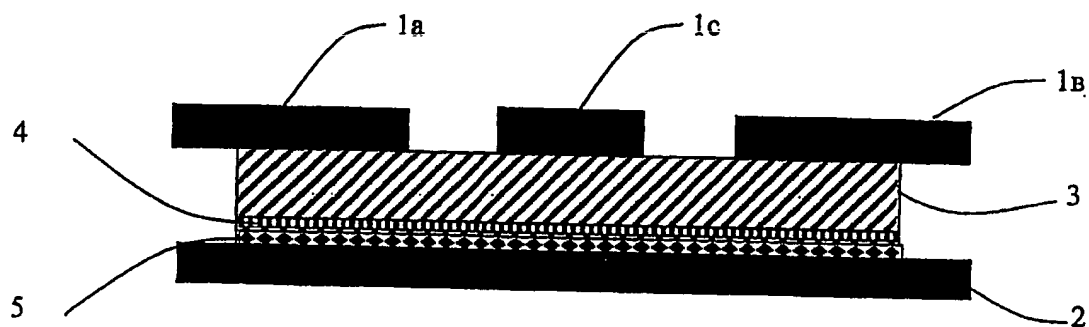


FIG. 17

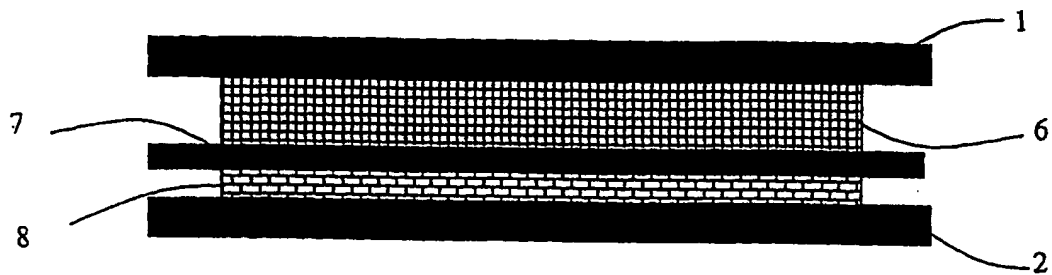


FIG. 18

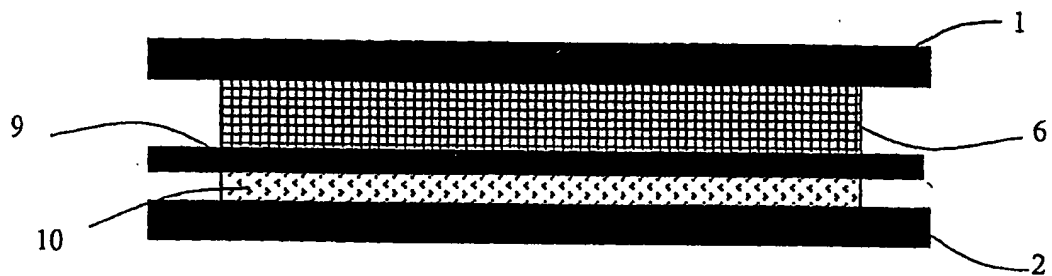


FIG. 19

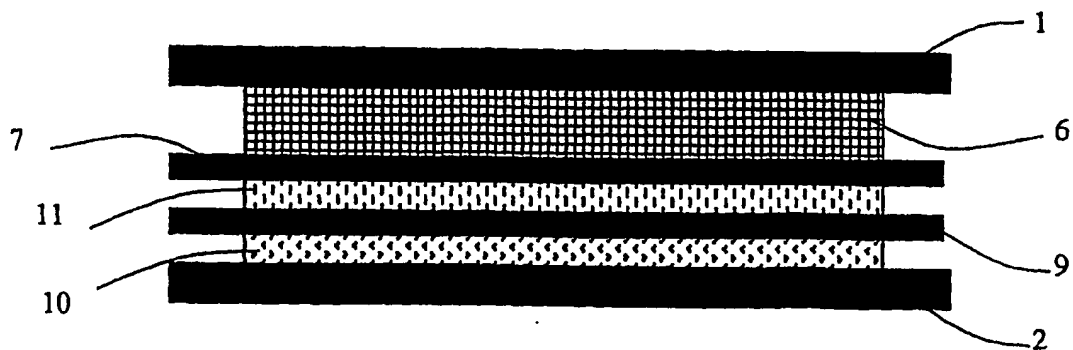


FIG. 20

9/10

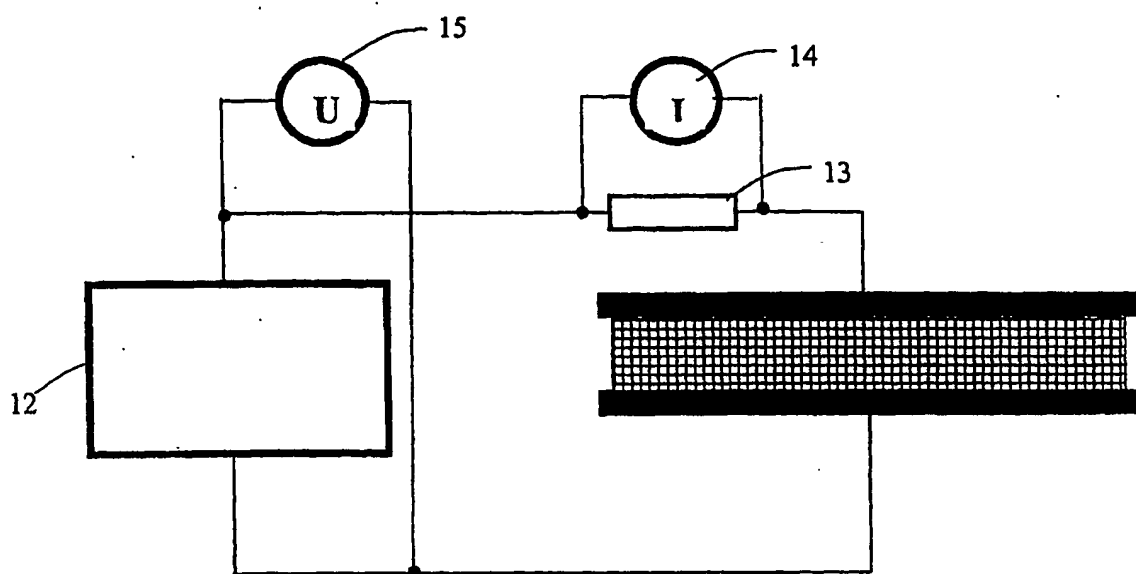


FIG. 21

10/10

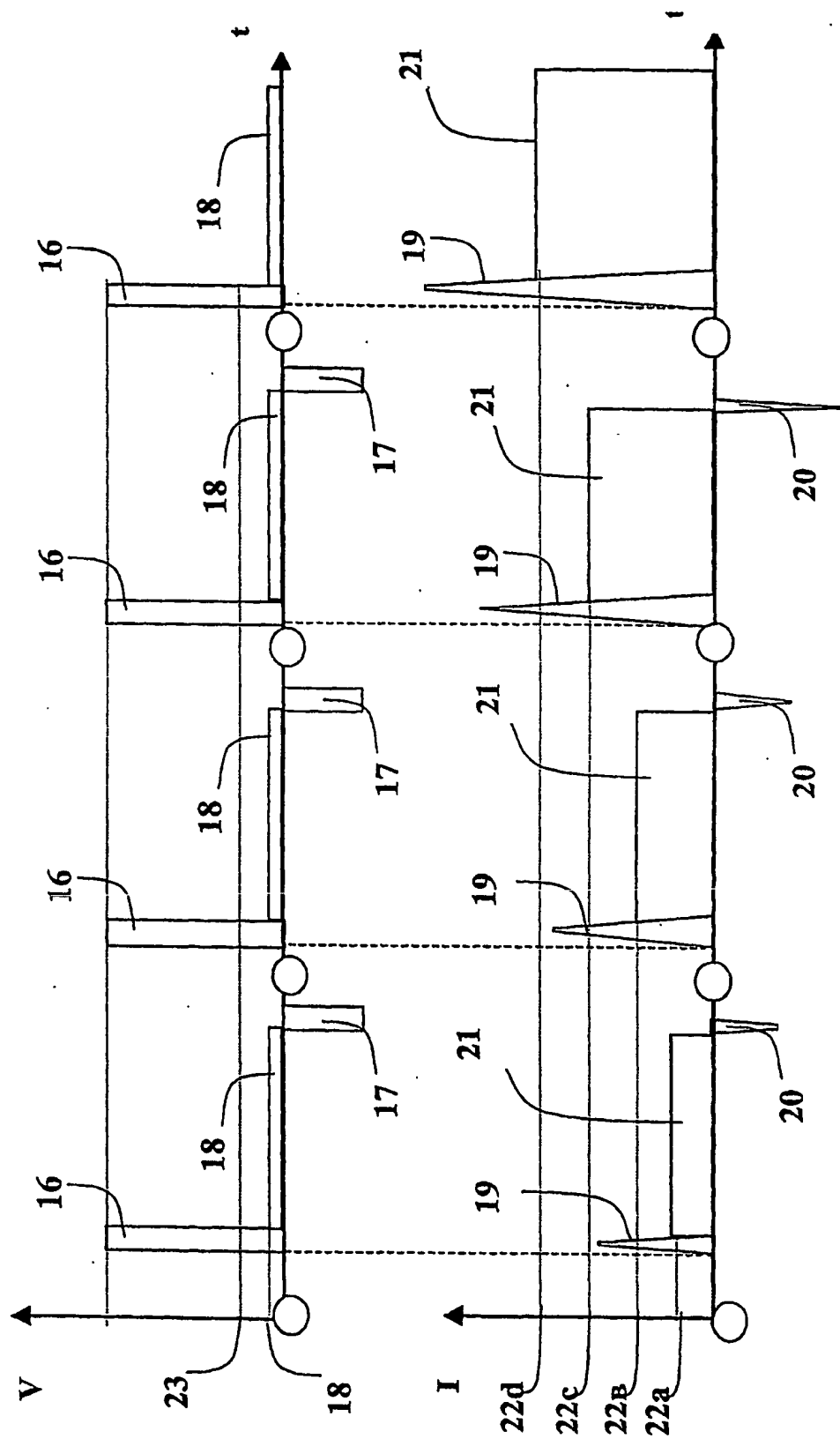


FIG. 22

PCT application PCT/RU01/00334
63642-010

A MEMORY CELL

The Engineering Field

The invention is in the field of Computer Engineering and can be used in memory devices for various computers, in developing associative memory systems; in creating synapses (electric circuit elements with programmable electric resistance) for neuronal nets, in developing data banks with direct access, and in developing a new generation of video and audio equipment.

The Existing Technology

The modern computers use memory devices of various purposes with different characteristics of writing speed, storage time, access time, and reading speed. This substantially complicates computer systems operation, increases computer start up time and complicates the data storage function.

One of the priority tasks in the microelectronics field is to create a universal memory system that would have high write and read speeds along with long storage time and high data density. In addition there is a great need in creating a simple and effective synapse element for neuronal computers. The lack of such an element holds back creation of true neural computers.

At the same time, the potential capabilities of the physical principles on which the modern electronic equipment is based are practically exhausted. Under way now is intensive research work aimed at finding new principles for electronic equipment functioning and manufacturing based on the ideas of molecular electronics with use of molecular materials and supramolecular ensembles.

Articles [1] and [2] contain analysis of possibilities for using the phenomenon of electronic structural instability of small conducting systems as the physics principle on the basis of which it is possible, in particular, to develop memory devices of a new generation. The work discusses the theoretical fundamentals of this phenomenon and analyses the conditions and parameters defining its characteristics. It also contains data

on one-dimensional molecular structures as well as discusses the features of the structural instability and analyses possibilities for static and dynamic control of one-dimensional system conductivity.

The above mentioned physical principle opens prospects for designing memory devices based on new mechanisms of data storing and transformation as well as on selecting new materials. It seems quite apparent that the potential possibilities of molecular electronics will be discovered on a greater scale with development of neuronal nets consisting of neurons connected by electro active synapses. Using the molecular electronics methods to develop artificial neurons and various types of sensors connected in a common net will open a way to realize all potential possibilities implied in the neurocomputer ideology, will allow to create an essentially new type of information processing and computer systems and come close to resolving the problem of creating artificial intelligence.

There is a known device containing memory cells that can be used for storing information (see US PATENT 6055180, International Classification G11C 11/36, 2000).

The main disadvantage of the known device is that it allows writing information only once. Moreover, the information reading is done by optical methods. Using optical devices makes memory equipment bigger and more complex and also lowers reading reliability because it is difficult to position optical ray. A different writing method described in this patent uses the thermal breakdown effect caused by applying high voltage. A disadvantage of this writing method is that it also allows to record information only once and requires using high voltages of the electric field.

There is a known memory cell with a three-layer structure consisting of two electrodes with a high temperature molecular compound placed between them (see Patent JP 62-260401, International Classification H01C 7/10, C23C14/08, H01B 1/12, 1990, and article [4]). The known memory cell uses the principle based on changing electric resistance of the molecular compound by applying an external electric field. The molecular substance conductivity can be at two very different levels, which allows it to store one bit of information.

The main shortcomings of the known memory cell are the low operation speed caused by long time needed to switch the resistance and the high voltage (about 60 v). These shortcomings significantly limit the usage of this cell in modern electronic devices.

There is also a known memory cell with a three-layer structure consisting of two electrodes between which there is a low temperature molecular compound (see US Patent 465894, International Classification H01L 29/28, 1987, and article [3]). This memory cell operation is also based on switching electric resistance of the molecular compound by applying an external electric field. However, this device, unlike the one described above, shows characteristically short resistance switch time and low operating voltages.

The main disadvantages of this known technical solution are as follows. First, it is impossible to combine the existing semiconductor manufacturing technology with the suggested memory cell manufacturing technology because the low temperature molecular compounds used in the memory cell are mechanically and, what is more important, thermally, not resistant enough and are able to withstand temperatures only up to 150C. This makes it impossible to use them with the modern semiconductor manufacturing technologies where temperatures up to 400C are used.

Secondly, the known memory cell can store only one bit of information, which prohibits its use in developing devices with high information density.

In addition, the physical characteristics of the materials used make the repeatability of the write-read-erase cycle unsatisfactory.

All memory cells discussed above as well as the memory cells of this type known in literature have one common shortcoming: they can store only one bit of information.

The Invention Disclosure

The invention is based on the problem of creating an essentially new type of memory cell which would be capable of storing several bits of information, would have short resistance switch time and low operating voltages and at the same time would allow to combine its manufacturing technology with that of the modern semiconductors.

This problem is resolved as follows. The memory cell has a three-layer structure consisting of two electrodes with a functional zone between them. This is achieved by making the electrodes out of a metallic and/or semiconductor and/or conductive polymer and/or optically transparent oxide or sulphide material, making the functional zone out of organic, metalorganic and non-organic materials, with different types of active elements built into the materials' molecular and/or crystalline structure, as well as by combining the materials with each other and/or with clusters based on them that change their state or position under influence of an external electric field and/or light radiation.

The described memory cell structure allows creating a memory element with single bit and multi-bit information writing, storing and reading methods. At the same time information is stored as the functional zone resistance value. For a memory cell with single bit storing mode the resistance value has two levels: high (e.g. representing 0) and low (e.g. representing 1), while for a memory cell with multi-bit storing mode the resistance value has several levels corresponding to specific bits of information. For example, for a two-bit cell there are four levels of its resistance, for a four-bit cell – sixteen levels, and so forth. The memory cell is advantageously distinctive of the currently used elements in that it does not require non-interrupted power supply while storing information. The information storage time depends on the memory cell structure, on material used for the functional zone, and on recording mode. The time can vary from several seconds (can be used for dynamic memory) to several years (can be used for long term memory, such as Flash memory).

It is beneficial to implement the memory cell functional zone consisting of an active layer based on organic and metalorganic conjugate polymers with active elements built into the main circuit and/or connected to the circuit or to the plane and/or built into the structure, with the elements forming or not forming a light emitting structure, or of an active layer based on organic, metalorganic and non-organic materials with instilled positive or negative ions, including molecular ions, and/or with instilled clusters based on solid electrolytes or with molecules and/or ions with an electric dipole element, and/or with clusters based on solid polymer and non-organic ferroelectrics, and/or with donor and acceptor molecules, and/or with organic and/or non-organic salts and/or acids and/or water molecules, and/or with molecules which can dissociate in an electric field and/or

under light radiation, and/or with non-organic and/or metalorganic and/or organic salts and/or molecules with variable valency of metals or atomic groups they contain. The described implementation of the functional zone allows to create a structure capable of changing the active layer resistance and/or forming high conductivity areas or lines in the active layer under external electric and/or light radiation effect on the memory cell and retaining this state for a long time without applying external electric fields.

For one of the active elements of the memory cell active zone it is quite effective to use molecules and/or ions with electric dipole element and/or with instilled clusters based on solid polymer and non-organic ferroelectrics, to ensure operation of the memory cell with low applied voltage. This is due to the fact that presence of the ferroelectric elements increases the internal electric field intensity and consequently requires application of lower external electric voltage for writing information.

There are interesting prospects in implementing the functional zone as a multilayer structure consisting of several layers with various levels of activity, implemented, for example, out of organic, metalorganic and non-organic materials whose molecular and/or crystalline structure will have instilled active elements and/or clusters based on them, which will change their state under external electric field or light radiation influence, which allows to widen the range and quantity of electric resistance levels therefore increasing the memory data density.

It is advisable to implement the functional zone as multilayer structure with alternating active, passive and barrier layers, where the passive layers are made of organic, metalorganic and non-organic materials which are donor and/or acceptor charge carriers and possess ion and/or electron conductivity, while the barrier layer is made of material with high electron conductivity and low ion conductivity, which allows to improve the memory cell stability over time at the same time increasing data density due to increasing the quantity of the stored values of the memory cell electric resistance.

It is preferable to implement the memory cell's electrode in form of several separate elements, for example two or three elements placed above the functional layer, which will permit more precise control the value of the cell electric resistance, therefore improving the quantity of information recording or the memory cell electric resistance

analog values precision, as well as allows to decouple the information writing and reading electric circuits.

It is advantageous to implement the memory cell electrode in the form of two elements separated in space by a semiconductor and/or organic light emitting material and forming, for example, either a diode structure, or a photo resistance or a photo sensor element, which allows to decouple the information writing and reading electric circuits electrically or optically.

It is also advantageous to implement the memory cell electrode in the form of three parallel elements separated in space by a semiconductor and/or organic light emitting material and forming, for example, a light emitting structure and a photo resistance or a photo sensor element, which allows to decouple the information writing and reading electric circuits optically.

An Outline Description of Drawings

Figures 1 through 20 show options of implementing the claimed memory cell:

- Figure 1: A general outline of the claimed memory cell structure with two continuous electrodes and an active functional zone.
- Figure 2: The claimed memory cell with two continuous electrodes and a single layer functional zone.
- Figure 3 - 8: The claimed memory cell with two continuous electrodes and a multilayer functional zone.
- Figures 9: The claimed memory cell implemented with a single layer functional zone, one continuous electrode and one electrode consisting of two elements.
- Figures 10 - 11: The claimed memory cell implemented with a multilayer functional zone, one continuous electrode and one electrode consisting of two elements.
- Figure 12: The claimed memory cell implemented with a single layer functional zone and two electrodes, each consisting of two elements.
- Figure 13 - 14: The claimed memory cell implemented with a multilayer functional zone and two electrodes, each consisting of two elements.

- Figures 15: The claimed memory cell implemented with a single layer functional zone, one continuous electrode and one electrode consisting of three elements.
- Figure 16 - 17: The claimed memory cell implemented with a multilayer functional zone and two electrodes, each consisting of two elements.
- Figure 18 - 20: The claimed memory cell implemented with a multilayer functional zone with elements of electric or optical decoupling.
- Figure 21: A diagram explaining the principles of information write, erase and read operations for the claimed memory cell.
- Figure 22: Voltage and current waveforms of information write, erase and read operations for the claimed memory cell.

The Best Options for Implementing the Invention

The claimed memory cell (Figures 1 through 8) contains two continuous aluminum electrodes 1 and 2 between which there is a single layer functional zone consisting of one active layer which can be doped by ions 3 or electrolyte clusters 3a (Fig. 1 - 2) or two active doped layers 3b and 3c (Fig. 3) or two active layers with electrolyte clusters 3d and 3e (Fig. 4) separated by a barrier layer 4. Figures 5 through 8 show the multilayer functional zones, consisting of one active layer 3 and one passive layer 5 (Fig. 5) or of one active layer 3, one barrier layer 4 and one passive layer 5 (Fig. 7) or of two active layers 3b and 3c, one barrier layer 4 and two passive layers 5a and 5b (Figure 8).

In Figures 9 through 11 the claimed memory cell contains aluminum electrodes 1 and 2 where the top electrode 1 consists of two elements 1a and 1b. Between the electrodes there is a single layer functional zone, consisting of one active layer 3 (Figure 9) or a multilayer functional zone consisting of one active layer 3 and one passive layer 5 (Figure 10) or a multilayer functional zone consisting of one active layer 3, one barrier layer 4 and one passive layer 5 (Figure 11).

Figures 12 through 14 show the claimed memory cell that has aluminum electrodes 1 and 2, each consisting of two elements, 1a and 1b and 2a and 2b, respectively. Between the electrodes there is a single layer functional zone, consisting of

one active layer 3 (Figure 12) or a multilayer functional zone consisting of one active layer 3 and one passive layer 5 (Figure 13) or a multilayer functional zone consisting of one active layer 3, one barrier layer 4 and one passive layer 5 (Figure 15).

Figures 15 through 17 show the claimed memory cell that has aluminum electrodes 1 and 2, where the top electrode 1 consists of three elements 1a, 1b and 1c. Between the electrodes there is a single layer functional zone, consisting of one active layer 3 (Figure 15) or a multilayer functional zone consisting of one active layer 3 and one passive layer 5 (Figure 16) or a multilayer functional zone consisting of one active layer 3, one barrier layer 4 and one passive layer 5 (Figure 17).

The claimed memory cell in Figures 18 through 20 has two continuous electrodes 1 and 2 between which there is a multilayer functional zone 6 which can be implemented similar to the one shown in Figures 3 through 8 and equipped with electric decoupling elements: an electrode 7 and a layer 8 made of a semiconductor or organic material forming a diode structure (Fig. 18), or with optical decoupling elements: an additional electrode 9 made of an electro conductive and optically transparent material and a layer 10 made of a semiconductor and/or organic material forming a photo resistance or a photo sensor element (Fig. 19), or with optical decoupling elements: an electrode 7 made of and electro conductive material and two layers 10 and 11 made of semiconductor and/or organic materials, separated with an electrode 9 made of electro conductive and optically transparent material and forming a photodiode or a light emitting structure 11 and a photo resistance or a photo sensor element 10 (Fig. 20).

To explain the principles of write, erase and read operations with the claimed memory cell let us look at the diagram shown in Figure 21 and containing: a special test generator 12 based on a programmable current generator and providing controllable current level during information recording and constant voltage during reading, and also forming negative pulses during erasing; a memory cell including electrodes 1 and 2 and a functional zone 6 which can be implemented as one of the options shown in Figures 1 through 17; a ballast resistance 13 and voltage registering devices 14 and 15 which can be implemented as voltmeters, recorders or oscillographs. The values of the current flowing through the memory cell are obtained by measuring voltage on the ballast resistance 13.

The device operates as follows. The test generator 12 forms a voltage pulse 16 (Fig. 22), which exceeds the threshold value 23. After the writing current pulse value 19 reaches the programmed level, the generator 12 switches to the reading mode and forms reading voltage 18, which is significantly lower than the threshold value 23. The write operation is considered completed if the controlled writing current value 19 reaches the programmed level, after which the applied voltage is switched off. Based on value 22 (a-d) of the current flowing through the ballast resistance 13 the value of the memory cell resistance can be estimated and these resistance values can be corresponded to a specific bit of information. For example, for a two bit memory cell:

- Current 22a corresponds to value (00);
- Current 22b corresponds to value (01);
- Current 22c corresponds to value (10);
- Current 22d corresponds to value (11).

The information storage duration as well as the quantity of the corresponding memory cell electric resistance values depends on the selected functional zone structure and materials used. Erasing of the information is done by the generator 12 by sending a negative voltage pulse 17. The erase operation is considered completed if the controlled erasing current value 20 reaches the preset level and then the applied electric voltage is switched off. After the erase operation the memory cell returns to the initial state with very high resistance of the functional zone 6. For the memory cell structure shown in Fig. 2, before each write operation it is necessary to turn the cell into its initial state, that is erase the recorded information.

A number of options for implementing the claimed memory cell follow below.

Option 1.

The memory cell (Figures 1 and 2) has a three-layer structure, consisting of two aluminum electrodes 1 and 2, between which there is polyphenil acetylene 3 or polydiphenil acetylen doped with lithium ions 3a. The memory cell programming is done by applying an electric field pulse greater than the threshold value with simultaneous control of the current flowing through the cell (or the resistance value or the duration and value of the of the applied voltage pulse). A write operation is considered completed if the controlled values (current or resistance) reach the preset level, after which the applied

voltage is switched off. Reading of the information is done by applying an electric voltage pulse lower than its value with simultaneous recording of the current value or controlling the resistance value. Erasing takes place when a reverse (negative) electric voltage pulse is applied with control of the current flowing through the cell (or the resistance value or the duration and value of the of the applied voltage pulse). An erase operation is considered completed if the controlled values (current or resistance) reach the preset level, after which the applied negative voltage is switched off.

Option 2.

The memory cell (Figures 3 and 4) has a three-layer structure, consisting of two aluminum electrodes 1 and 2, between which there are two layers of polyphenil-acetylene 3b and 3c or two layers 3d and 3e of polydiphenil acetylene doped with lithium ions, separated by lithium nitride 4. The memory cell information programming, reading and erasing are done using the method described in Option 1. This cell is capable of storing information for long time periods.

Option 3.

The memory cell (Figure 5) has a three-layer structure, consisting of two aluminum electrodes 1 and 2, between which there is a layer of silicon oxide or silicon nitride or polystyrene 3 and a passive layer 5 of copper or silver halcogenide. The memory cell information programming, reading and erasing are done using the method described in Option 1. This cell is capable of storing information for long time periods.

Option 4.

The memory cell (Figure 1) has a three-layer structure, consisting of two aluminum electrodes 1 and 2, between which there is a layer 3 of polyphenil-acetylene or of polydiphenil acetylene doped with molecules of chloranil or tetracyano-quinodimethane. The memory cell information programming, reading and erasing are done using the method described in Option 1. Fast switching is a characteristic of this cell.

Option 5.

The memory cell (Figure 5) has a three-layer structure, consisting of two aluminum electrodes 1 and 2, between which there are a polyaniline layer 3 and a passive palladium hydride layer 5. The memory cell information programming, reading

and erasing are done using the method described in Option 1. Fast switching is a characteristic of this cell.

Option 6.

The memory cell (Figure 16) has a three-layer structure, consisting of two aluminum electrodes where one of the electrodes (top) is made of three elements 1a, 1b and 1c. The functional layer 3 consists of polyphenil-acetylene or polydiphenil acetylen and a passive layer 5 made of niobium halcogenide doped with lithium ions or of copper halcogenide. The memory cell information programming is done by applying an electric field pulse to the bottom electrode 2 and to the middle element of the top electrode 1c. The pulse value exceeds the threshold level 23. At the same time the electric resistance between the end elements 1a and 1b of the top electrode is controlled. The write operation is considered completed if the controlled electric resistance values reach the preset level and then the applied electric voltage is switched off. Reading the information from the cell is done by measuring electric resistance between the end elements 1a and 1b of the top electrode using low voltage pulses. Erasing the memory cell is done by applying a reverse (negative) electric field pulse to the bottom electrode 2 and the middle element of the top electrode 1c with simultaneously controlling the resistance between the end elements 1a and 1b of the top electrode. The Erase operation is considered completed when the controlled values (current or resistance) reach the preset level and then the applied negative voltage is switched off. This cell has a greater information density due to decoupling of the write and read circuits, and consequently - a more precise control of the programmed memory cell electric resistance value.

Option 7.

The memory cell (Figure 20) has a multilayer structure, consisting of four electrodes 1, 2 (made of aluminum), 7 (made of magnesium), and 9 (made of conductive transparent indium oxide). The functional zone 6 corresponds to the functional zone in Fig.16 and consists of polyphenil-acetylene or polydiphenil acetylen and a passive layer made of niobium halcogenide doped with lithium ions or of copper halcogenide. Layer 11 is made of polyphenil vinylene and forms a light emitting structure. Layer 10 is made of a semiconductor or an organic material and is a light sensor structure. The light

emitting (11) and the light sensing (10) layers are separated by the electrode 9 made of conductive and transparent indium oxide. The memory cell information programming and erasing is done using the method described in Option 1, by applying voltage to electrodes 1 and 7. Reading is done by applying a voltage pulse, which is lower than the threshold value to electrodes 1 and 2, with simultaneous control of resistance or voltage between electrodes 2 and 9. This cell has a greater information density due to optical decoupling of the write and read circuits, which provides for a more precise control of the programmed memory cell electric resistance value.

Technical Usability

Prototypes of the claimed memory cell were built and tested with a special test rig using a test generator. Options with continuous aluminum electrodes were built as well as the options using two or three aluminum electrodes with poly-conjugate polymer polydiphenil acetylen doped with lithium ions placed between the electrodes. The bottom aluminum layer was sprayed on a glass substrate while the top electrode was sprayed on the poly-conjugate polymer layer. The poly-conjugate polymer used withstands heating to 400C, which allows manufacturing the claimed memory cells together with manufacturing semiconductor devices. The tests proved the possibility of creating a memory cell capable of storing multi-bit digital information as well as of forming analog values of its electric resistance levels, thus also permitting its usage for active synapses in neuronal nets. Therefore the claimed memory cell can be considered an essentially new device for storing information in either digital or analog form.

Literature

1. Ю. Г. Кригер. Структурная неустойчивость одномерных систем как основа физического принципа функционирования устройств молекулярной электроники. Журнал структурной химии, 1999, Т. 40, № 4, сс. 734-767.
2. Ю. Г. Кригер. Молекулярная электроника. Состояние и пути развития. Журнал структурной химии, 1993, Т. 34, № 6, сс. 75-85.
3. R. S. Potember, T. O. Poehler. Electrical switching and memory phenomena in Cu-TCNQ thin films. Appl. Phys. Letters, 1979, v.34, No. 6, pp.405-407.


4. Y. Machida, Y. Saito, A. Taomoto, K. Nichogi, K. Waragai, S. Asakawa. Electrical switching in evaporated lead phthalocyanine films. Jap. J. Appl. Phys. Pt.1, 1989, v. 28, No.2, pp 297-298.

SUMMARY OF INVENTION

1. A memory cell with a three-layer structure consisting of two electrodes with a functional zone between them, *distinctive* in that the electrodes are made of metal and/or semiconductor and/or conductive polymer and optically conductive oxides or sulphides, while the functional zone is made of organic, metalorganic and non-organic materials, and in the functional zone molecular and/or crystalline structure instilled are various types of active elements as well as their combinations with each other and/or clusters based on the elements, which change their state or position under influence of external electric field and/or light radiation.
2. A memory cell as in 1, *distinctive* in that the electrode is implemented as several elements, separated from each other in space and electrically.
3. A memory cell as in 1 and 2, *distinctive* in that the electrode consists of two or three separate elements placed on top of the functional zone.
4. A memory cell as in 1, *distinctive* in that the functional zone is implemented as an active layer based on organic, metalorganic and non-organic materials with instilled positive or negative ions, including molecular ions.
5. A memory cell as in 1, *distinctive* in that the functional zone is implemented as an active layer based on composites of organic, metalorganic and non-organic materials with instilled clusters based on solid electrolytes.
6. A memory cell as in 1, *distinctive* in that the functional zone is implemented as an active layer based on organic, metalorganic and non-organic materials with instilled molecules and/or ions with electric dipole moment.
7. A memory cell as in 1, *distinctive* in that the functional zone is implemented as an active layer based on composites of organic, metalorganic and non-organic materials with instilled clusters based on solid polymer and non-organic ferroelectrics.

8. A memory cell as in 1, distinctive in that the functional zone is implemented as an active layer based on organic, metalorganic and non-organic materials with instilled donor and acceptor molecules.
9. A memory cell as in 1, distinctive in that the functional zone is implemented as an active layer based on organic, metalorganic and non-organic materials with instilled organic and/or non-organic salts and/or acids and/or water molecules.
10. A memory cell as in 1, distinctive in that the functional zone is implemented as an active layer based on organic, metalorganic and non-organic materials with instilled molecules able to dissociate in an electric field and/or under light radiation.
11. A memory cell as in 1, distinctive in that the functional zone is implemented as an active layer based on organic, metalorganic and non-organic materials with instilled non-organic and/or metalorganic and/or organic salts and/or molecules with variable valency of metals or atomic groups contained in them.
12. A memory cell as in 1, distinctive in that the functional zone is implemented as an active layer based on organic and metalorganic conjugate polymers with active elements built into the main circuit and/or connected to the circuit or to the plane and/or built into the structure, with the elements forming or not forming a light emitting structure
13. A memory cell as in 1, distinctive in that the functional zone is implemented as a multilayer structure consisting of several different active layers made of organic, metalorganic and non-organic materials, where into the molecular and/or crystalline structure instilled are active elements and/or clusters based on them, which change their states and/or positions under influence of an external electric field and/or a light radiation.
14. A memory cell as in 13, distinctive in that for the functional zone a multilayer structure is used consisting of several active, passive, barrier, light emitting and light sensing layers separated between each other by electrodes of different active layers made of organic, metalorganic and non-organic materials where into the molecular and/or crystalline structure instilled are active element and/or clusters based on them, changing their states and/or positions under influence of an external electric field and/or a light radiation.

15. A memory cell as in 14, distinctive in that for the functional zone a multilayer structure is used, consisting of alternating active and passive layers with elements of optical or electric decoupling.
16. A memory cell as in 14, distinctive in that the passive layers are made of organic, metalorganic and non-organic materials, which are donors and/or acceptors of charge carriers and are ion and/or electronic conductors.
17. A memory cell as in 14, distinctive in that the barrier layer is made of materials with high electronic conductivity and low ion conductivity.
18. A memory cell as in 14, distinctive in that for the functional zone a two-layer structure is used, consisting of an active layer and a passive layer.
19. A memory cell as in 14, distinctive in that for the functional zone a two-layer structure is used, where one layer is made of metalorganic and non-organic materials and has high electronic and low ion conductivity, while the other layer is passive.
20. A memory cell as in 14, distinctive in that for the functional zone a three-layer structure is used, with outer active layers and a barrier layer placed between them.
21. A memory cell as in 14, distinctive in that for the functional zone a four-layer structure is used, with two active layers, separated by the third, barrier layer, where the fourth layer is passive.
22. A memory cell as in 14, distinctive in that for the functional zone a five-layer structure is used, with two outer passive layers and two active layers placed between the passive ones and separated by the fifth, barrier layer.
23. A memory cell as in 15, distinctive in that the electric decoupling element is implemented as an additional electrode made of an electro conductive material and a layer of semiconductor and/or organic material forming a diode structure.
24. A memory cell as in 15, distinctive in that the electric decoupling elements are implemented as an additional electrode made of an electro conductive and optically transparent material and a layer of semiconductor and/or organic material forming either a photo resistance or a photo sensor element.
25. A memory cell as in 15, distinctive in that the electric decoupling element is implemented as an additional electrode made of an electro conductive material two layers of semiconductor and/or organic materials separated by a second additional



electrode made of an electro conductive and optically transparent material and forming a photodiode or a light emitting structure and a photo resistance or a photo sensor element.

ABSTRACT

The invention is in the field of Computer Engineering and can be used in memory devices for various computers, specifically in developing a universal memory system with high data reading and writing speed along with capabilities for long term storage and high information density, as well as in developing video and audio equipment of a new generation, in developing associative memory systems, and in creating synapses (electric circuit elements with programmable electric resistance) for neuronal nets. The lack of such an element holds back the development of true neuronal computers.

The invention is based on the task of creating an essentially new kind of memory cell that would allow to store several bits of data, would have fast resistance switching and require low operating voltage but at the same time would allow to combine its manufacturing technology with the modern semiconductor manufacturing technology.

(Fig. 6 shows an implementation option of the claimed memory cell containing two continuous aluminum electrodes 1 and 2 between which there is a multilayer functional zone consisting of one active layer 3, one barrier layer 4 and one passive layer 5. This structure of the functional zone allows to change electric resistance of the active zone and/or form highly conductive areas or lines with metallic conduction in the active zone under the influence of the external electric field and/or its light emission on the memory cell) and to retain its electric resistance for long periods of time without applying external electric fields.

The memory cell is advantageously *distinctive* from the currently used single bit memory elements, in that it can store several bits of information. The data storage time depends on the memory cell structure, the material used for the functional zone and the writing mode. It can vary from several seconds (can be used to build dynamic memory) to several years (can be used for building long term memory, such as Flash memory). It is possible to create universal memory that can work in both dynamic and long-term modes, depending on the data-writing mode.

1/10

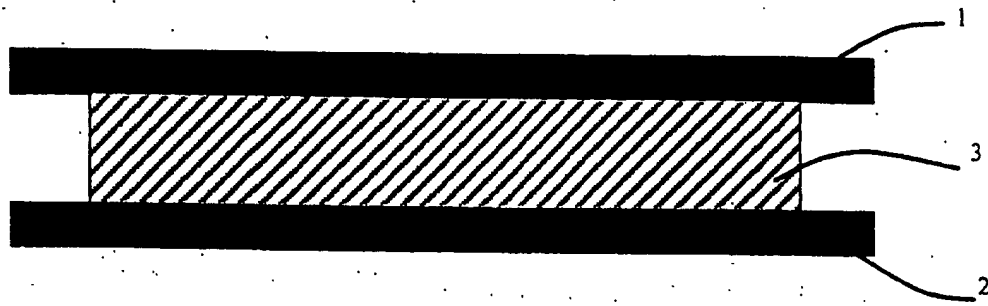


FIG. 1

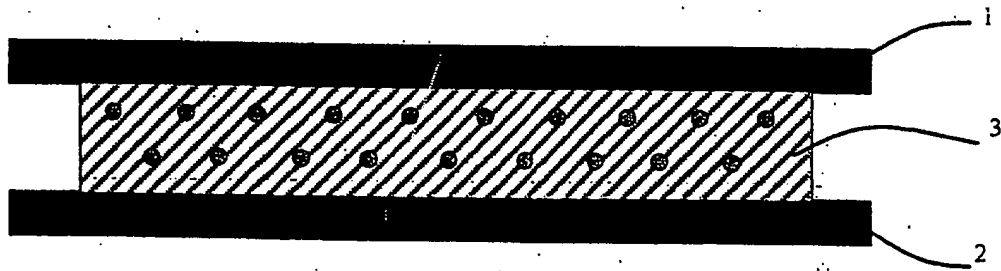


FIG 2

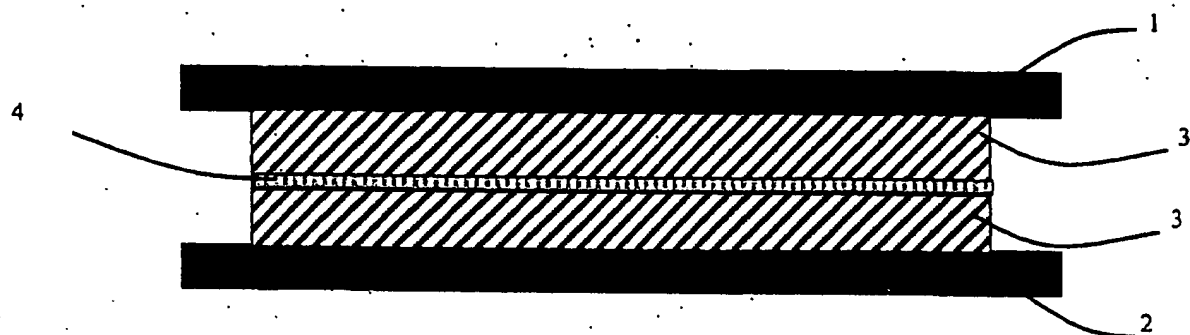


FIG. 3

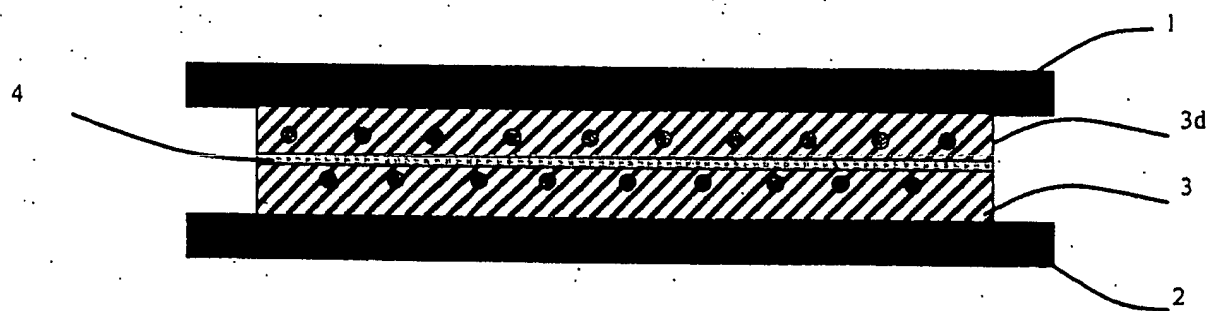


FIG. 4

3/10

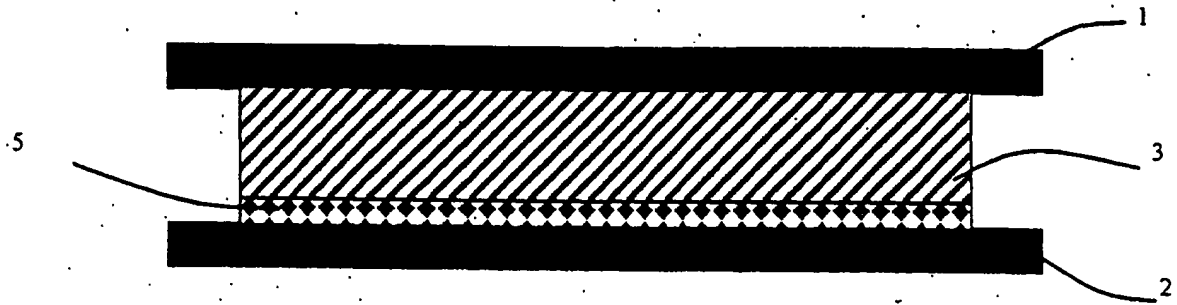


FIG. 5

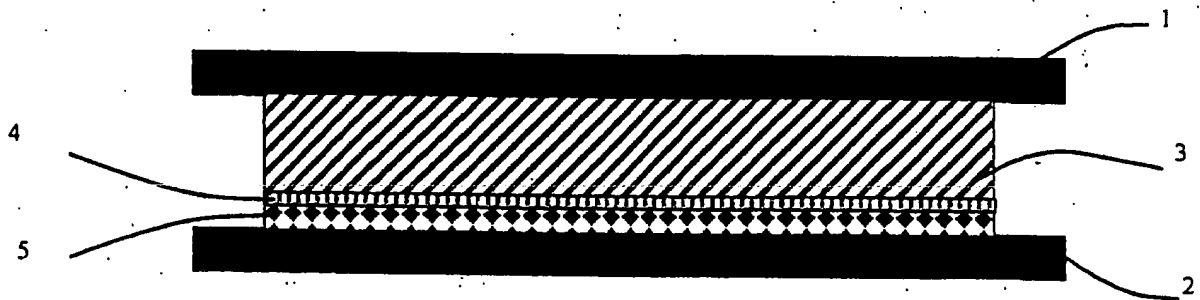


FIG. 6

4/10

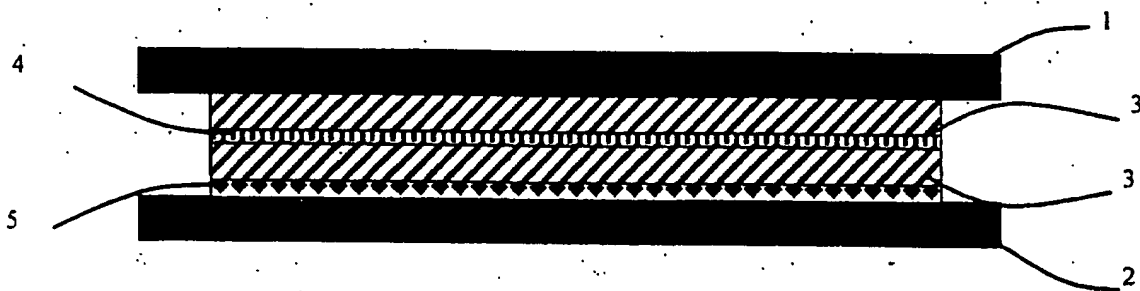


FIG. 7

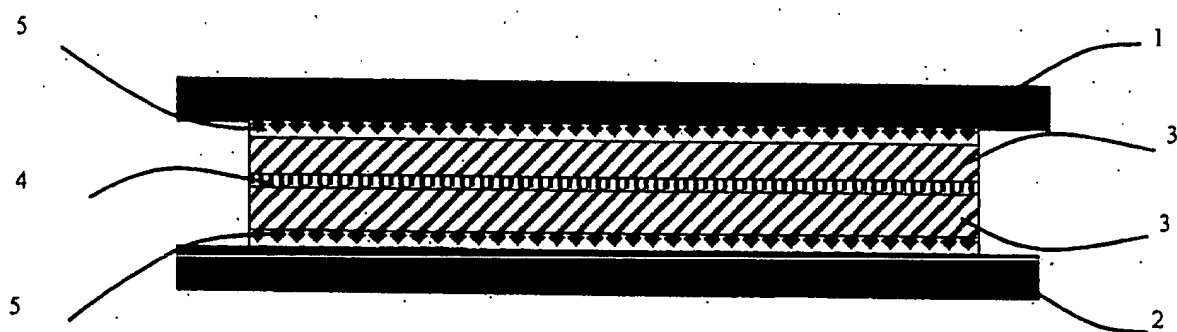


FIG. 8

5/10

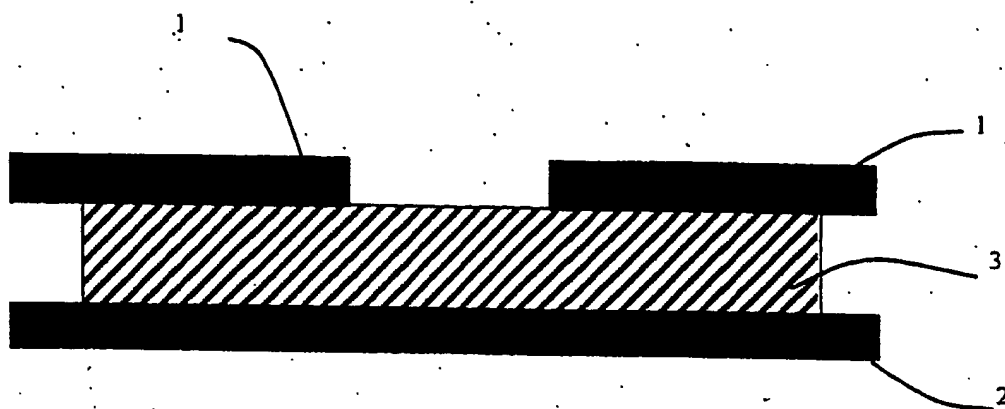


FIG. 9

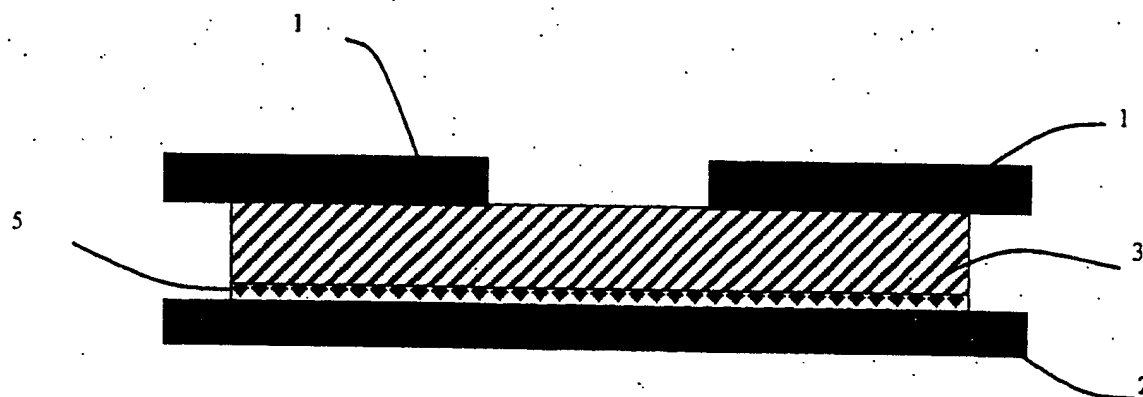


FIG. 10

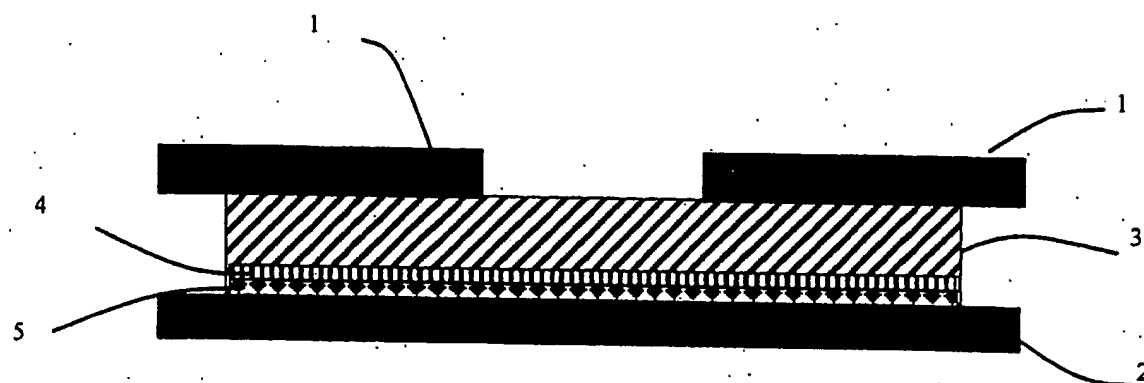


FIG. 11

6/10

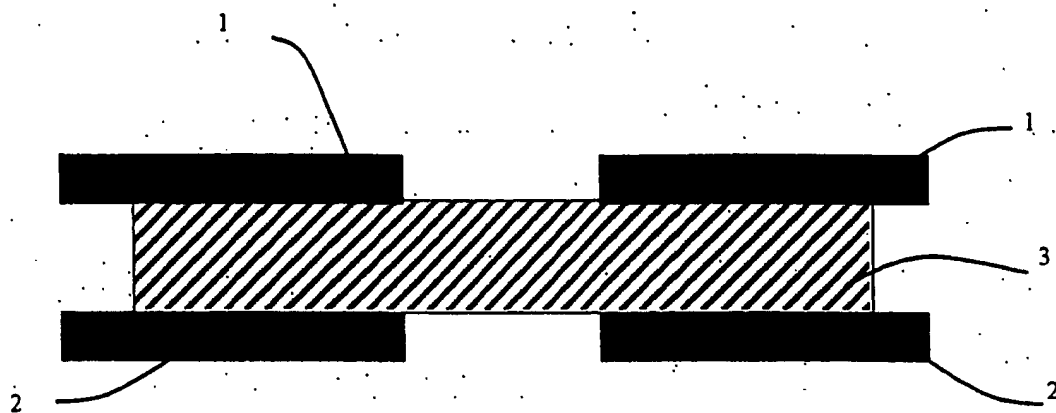


FIG. 12

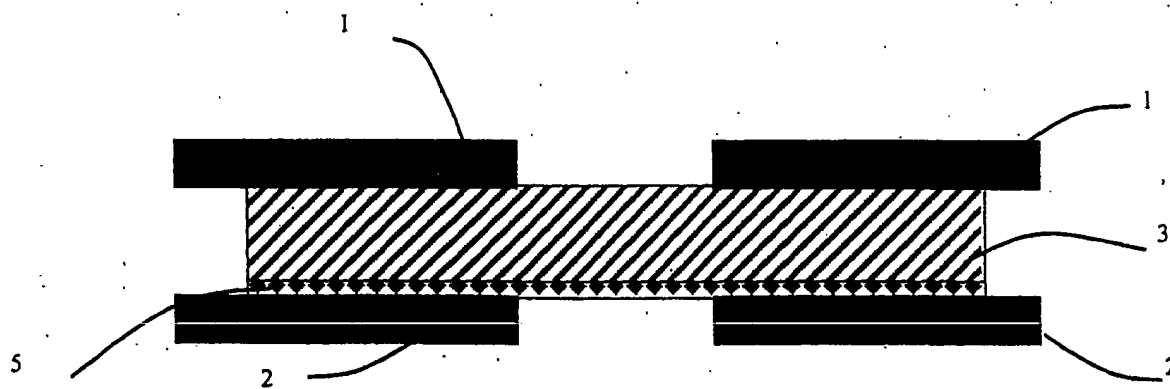


FIG. 13

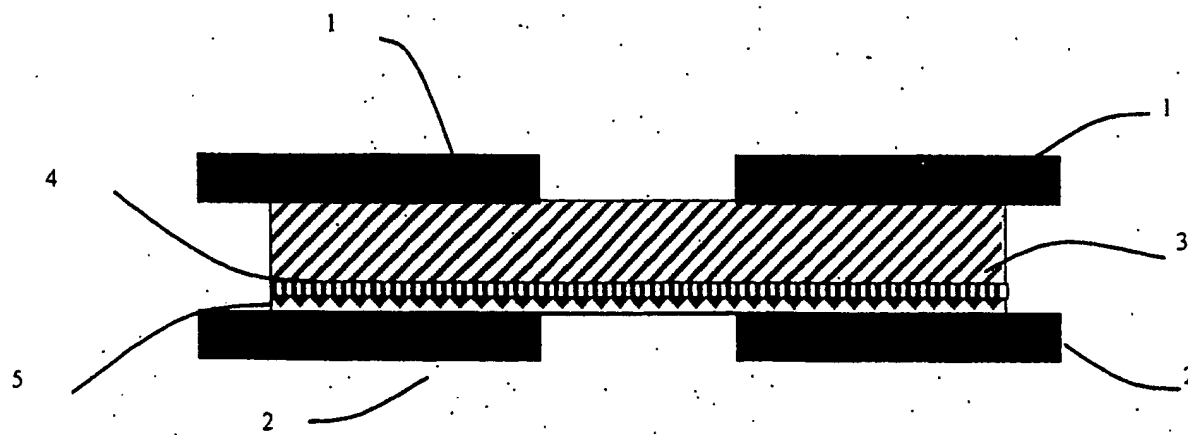


FIG. 14

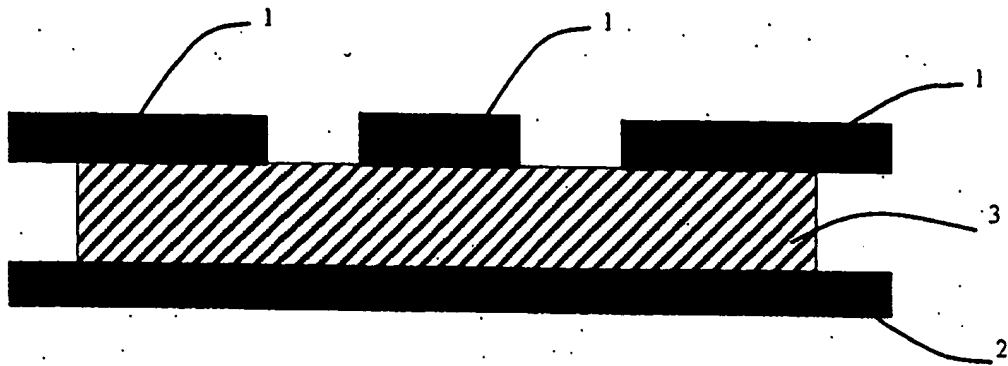


FIG. 15

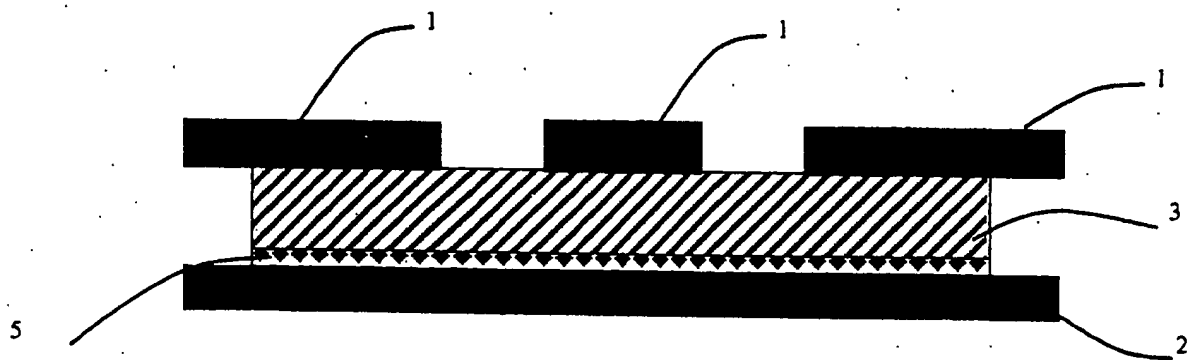


FIG. 16

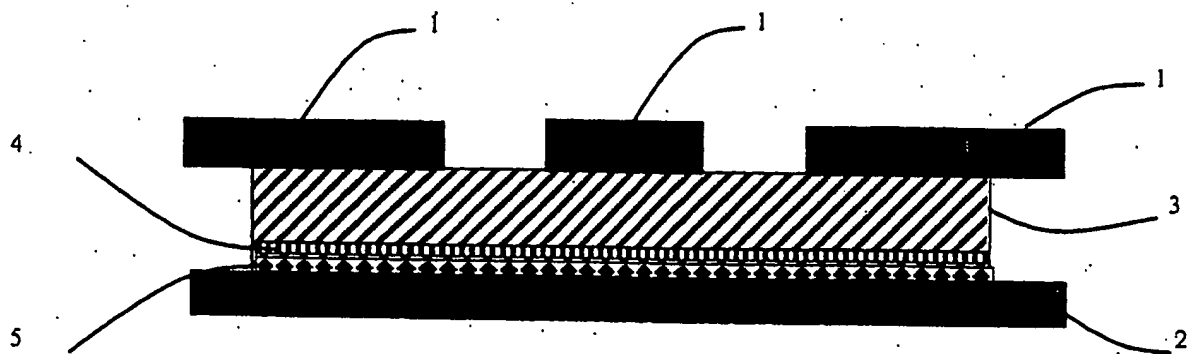


FIG. 17

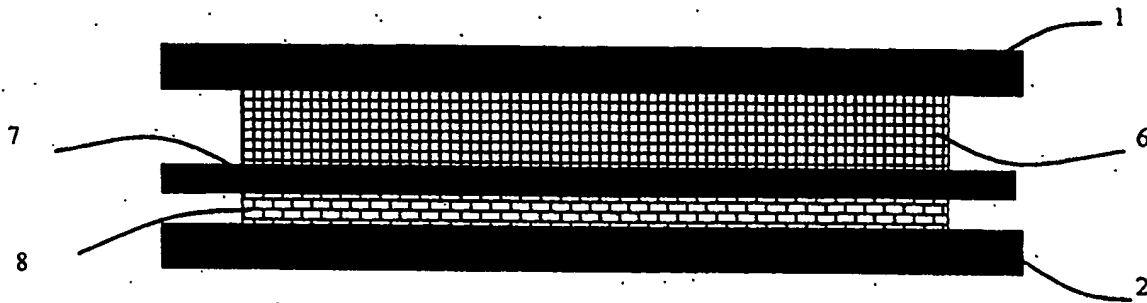


FIG.
18

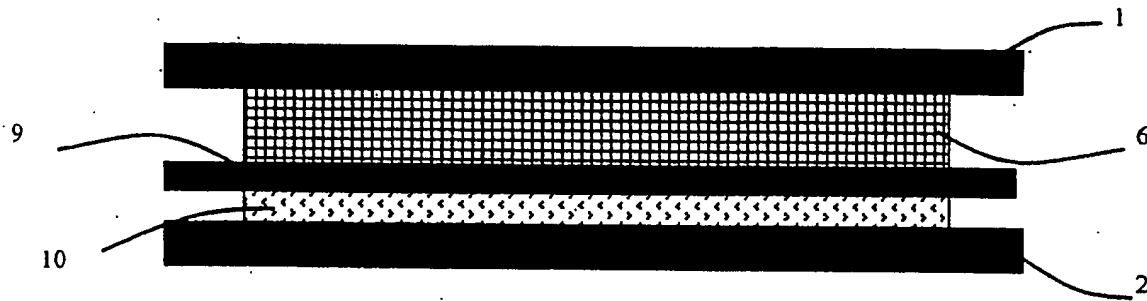


FIG.
19

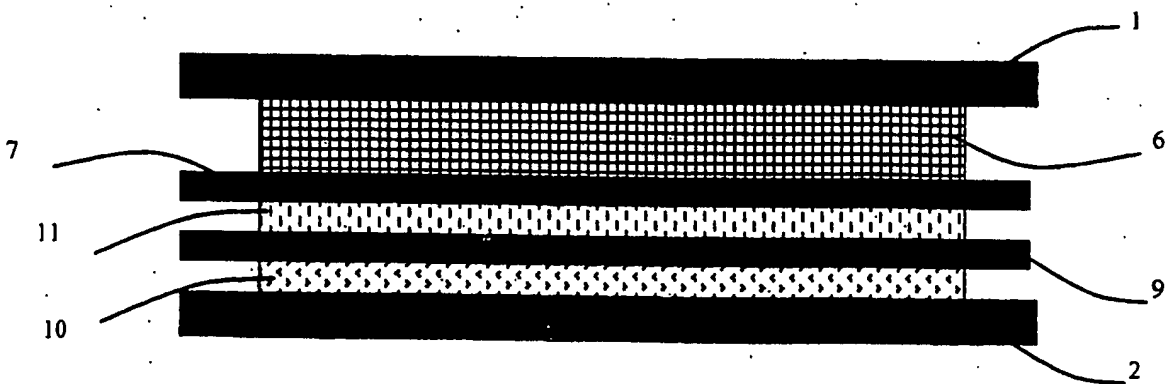


FIG. 20

9/10

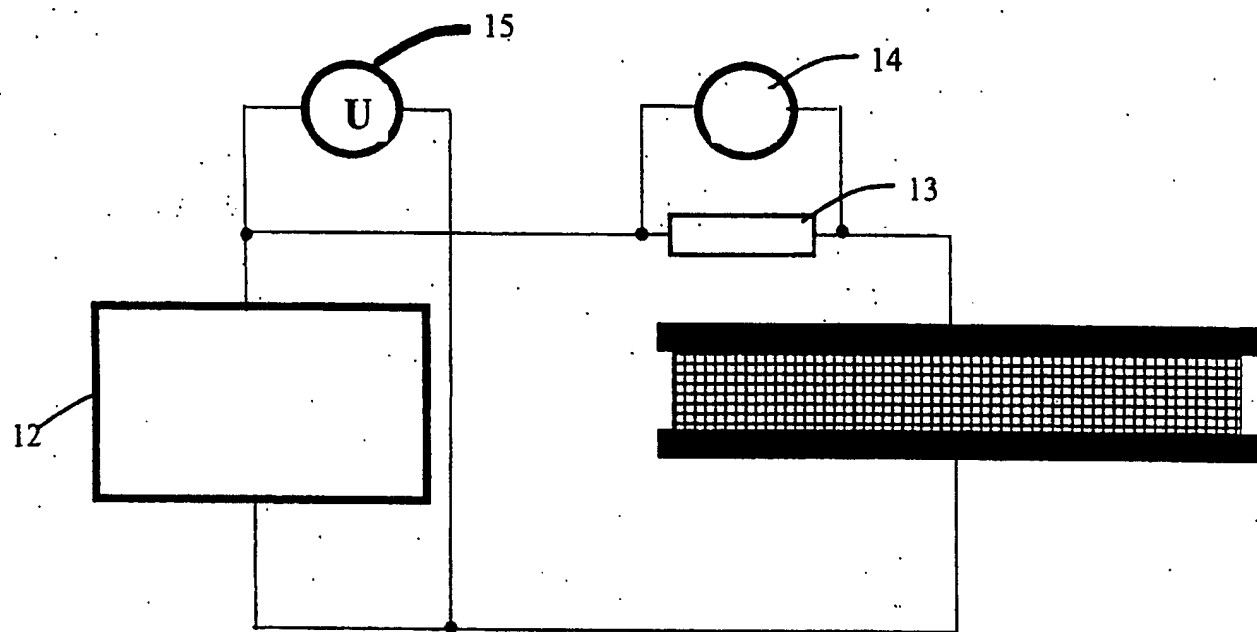
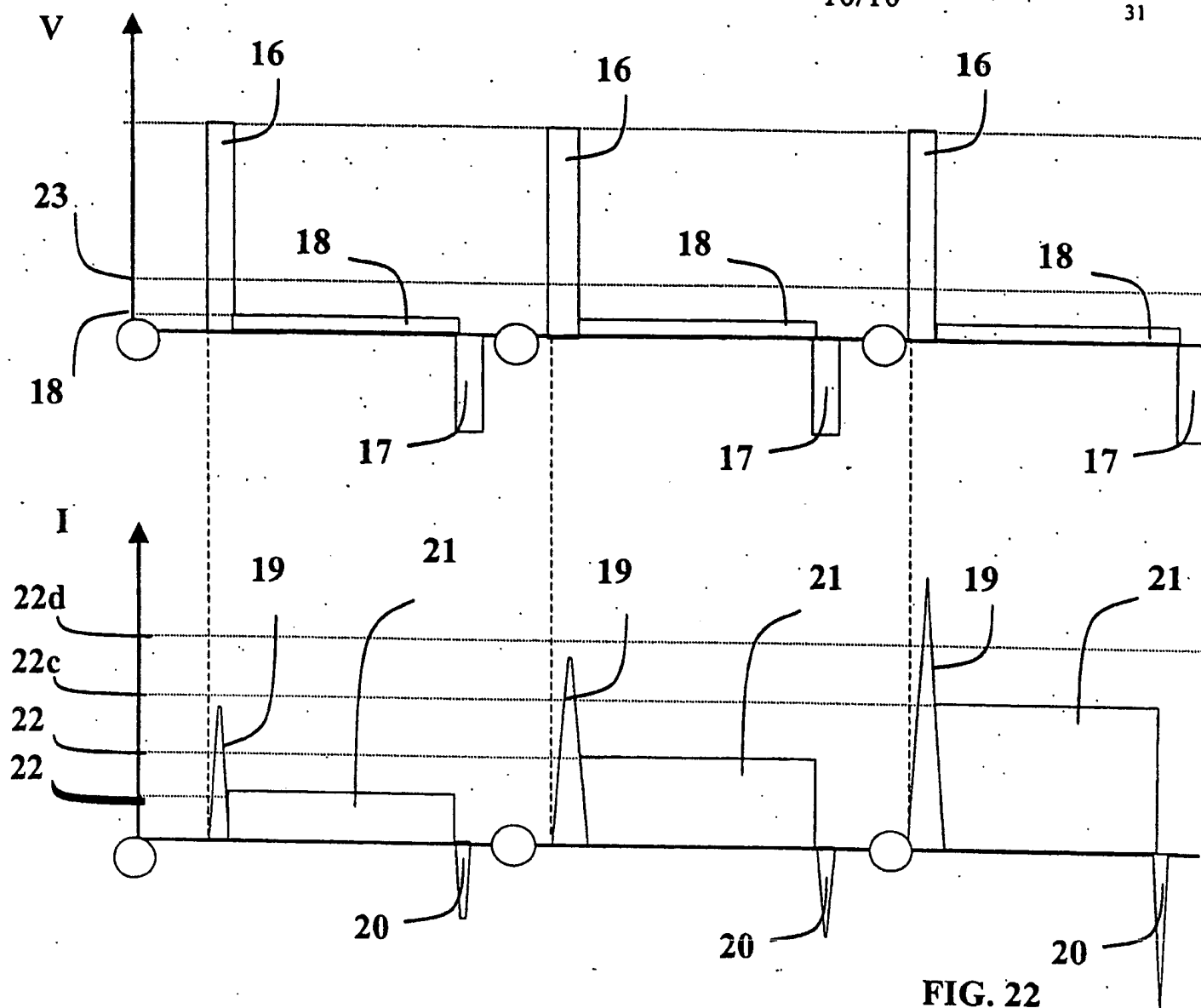


FIG.

21





SCIENCE ONLINE | SCIENCE MAGAZINE | SCIENCE & SOCIETY | NEXT ISSUE | STHE/ADS/AGE | SCIENCE CAREERS

Subscriber: US Patent & Trademark Ofc | Sign In as Individual | FAQ | Access Rights | Join AAAS

Science now

HELP | SUBSCRIPTIONS | FEEDBACK | SIGN IN

AAAS

SEARCH

ARCHIVES

► NEWS TIPS

► MASTHEAD

28 August 1997

Nanoparticles Get Wired

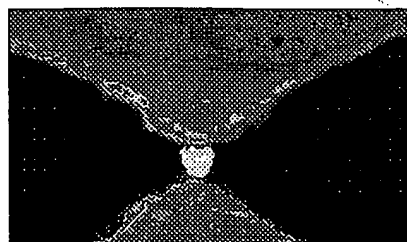
Scientists have succeeded in the delicate feat of trapping a single metal particle, just 17 nanometers (billionths of meter) wide, and measuring its electrical properties. The handy technique, to be reported next week in *Applied Physics Letters*, might be extended to measure the electrical behavior of single conducting molecules--testing that is needed before fantastically small electronic devices can be built.

It's not easy to strap electrodes onto a nanoparticle or molecule. Instead, researchers have resorted to indirect approaches, such as dropping tubular nanoparticles onto grids of fine wires and hoping some make contact. Dreaming of an easier way, physicists Cees Dekker and Alexey Bezryadin of Delft Technical University in the Netherlands etched a channel 20 nanometers wide into a substrate of silica nitrate. They left two "fingers" that protruded into the channel to catch a nanoparticle, then deposited platinum electrodes with traditional ion-beam sputtering. The electrodes grew out over the fingers, until the gap between the electrodes narrowed to an unprecedented 4 nm.

To trap a single nanoparticle, the team bathed the electrodes in water containing suspended nanoparticles of palladium. A small voltage across the electrodes, about 4.5 volts, polarized the particles and attracted them to the gap. The first particle to lodge itself in the gap allowed a current to flow across the electrodes. A resistor then cut the voltage. Without the electric field to attract them to the electrodes, the other particles froze in their tracks.

The lodged nanoparticle remained in place, even when the solvent was evaporated away. "We found this quite amazing," says Dekker. He and his colleagues proceeded to measure how much current could flow through the particle and can study quantum effects like electron tunneling. Dekker believes that the technique could also measure the electrical properties of biological molecules, such as DNA.

Experts are impressed by the team's work. "My group has done similar things with other techniques, but their technique is better," says Paul McEuen of the University of California, Berkeley. McEuen says that it could also open the way to making new devices as well as measuring them: "One may be able to make reliably very small objects trapped between two electrodes for a variety of applications."



Tight spot. A single palladium nanoparticle, wedged between two electrodes, can have its electrical properties tested.

DIMES INSTITUTE, DELFT UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.